ISBN 88-397-1141-4

Sped. in A.P. - 45% art.2 comma 20/b legge 662/96 - Filiale di Firenze

ANNO XLIX
NUMERO 1
APRILE 2000
£ 10.000

Elettronica e telecomunicazioni

- Il nuovo Standard DVB per il DSNG ed altri collegamenti di contributo via satellite
- Catalogo multimediale: l'esperienza RAI

- Sistema d'acquisizione dei programmi TV per il catalogo multimediale RAI
- Brevi note sull'alimentazione di sistemi radiotelevisivi mobili

telecomunicazioni

Anno XLIX
N°1 Aprile 2000

da pag. 1 a pag. 56

RIVISTA QUADRIMESTRALE A CURA DELLA RAI

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Comitato direttivo
Maurizio Ardito, Marzio Barbero, Mario Cominetti, Paolo D'Amato

Redazione
Marzio Barbero, Gemma Bonino

Rai Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Corso Giambone, 68 - 10135 Torino, Tel. 011/8103271

Gestione prodotto
Rai Editoria Periodica e Libraria
Viale Mazzini, 14 - 00195 Roma

Distribuzione in edicola
SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
via Bettola 18 - 20092
Cinisello Balsamo, Milano
Tel. 02/660301
Fax 02/66030320

Gestione abbonamenti e numeri arretrati
Licosa Via Duca di Calabria, 1/1
50125 Firenze
Tel. 055/645415
Fax 055/6483201

Una copia		£ 10.000
	estero	£ 17.000
Copia arretrata		£ 20.000
	estero	£ 27.000
Abb. annuale		£ 30.000
	estero	£ 50.000

Versamenti Licosa - Firenze
ccp.343509

Spedizione in abb. postale 45%

Reg. alla cancelleria del tribunale c.p. di Torino al n.494 in data 6-11-1951

Tutti i diritti riservati

La responsabilità degli scritti firmati spetta ai singoli autori

2000 © by Rai Radiotelevisione italiana

Progetto grafico
Franco De Vecchis

Stampa:
Stamperia Artistica Nazionale (Torino)

Indice

Il nuovo Standard DVB per il DSNG ed altri collegamenti di contributo via satellite

V. Mignone, A. Morello*

*Ing. V. Mignone
e ing. A. Morello
Rai - Centro Ricerche
e Innovazione
Tecnologica - Torino

Dattiloscritto pervenuto
alla Redazione
il 13 gennaio 2000

Nel Luglio 1997, il modulo tecnico del Progetto DVB (Digital Video Broadcasting) ha istituito un gruppo di lavoro sul DSNG sotto la direzione della RAI con il compito di (i) definire la specifica di modulazione e codifica di canale per il DSNG e altre applicazioni di contributo via satellite, (ii) definire la specifica per i canali di coordinamento ausiliari (iii) collaborare con altri gruppi DVB per la stesura di una guida d'utente per la codifica di sorgente, le Informazioni di Servizio (Service Information, SI) e l'Accesso Condizionato (Conditional Access, CA). Quest'attività di standardizzazione ha portato alla definizione di un sistema DVB-DSNG molto flessibile, che può offrire un'ampia gamma di livelli di qualità dell'immagine a diversi bit-rate utilizzando lo standard MPEG2 con profili MP@ML (fino a 15 Mbit/s) e 422P@ML (fino a 50 Mbit/s), e alla specifica di un sistema opzionale per i canali di coordinamento ausiliari, non trattata in questo articolo per motivi di sinteticità.

THE NEW DVB STANDARD FOR DIGITAL SATELLITE NEWS GATHERING AND OTHER CONTRIBUTION APPLICATIONS BY SATELLITE - In July 1997, the Technical Module of the DVB (Digital Video Broadcasting) Project has set-up an Ad-Hoc Group on DSNG under the chairmanship of RAI, with the tasks (i) to define the specification for modulation/channel coding for DSNG and other contribution applications by satellite, (ii) to define the specification for the auxiliary co-ordination channels and (iii) to co-operate with other DVB groups for the definition of the user guidelines for Source coding, Service Information (SI) and scrambling for Conditional Access (CA). This standardisation activity has led to the definition of a flexible DVB-DSNG system, which can offer a range of different picture quality levels at various bit-rates by using the MPEG-2 MP@ML (up to 15 Mbit/s) and the 422P@ML (up to 50 Mbit/s) algorithms, and to the specification for auxiliary co-ordination channels, not described in this paper for conciseness reasons.

1. Introduzione

Nelle trasmissioni televisive moderne, dominate da una sempre maggiore competizione, l'acquisizione in tempo reale di avvenimenti, come ad esempio incontri sportivi, interviste, concerti, calamità, sia in ambito nazionale che internazionale, è un fattore determinante per l'aumento degli indici d'ascolto. In questo contesto il sistema SNG (Satellite News Gathering, Acquisizione di Notizie via Satellite), grazie a terminali trasmittenti leggeri e ad antenne di dimensioni ridotte (da 90 a 150 cm), è la soluzione ottimale per stabilire connessioni rapide tra unità trasmittenti mobili e studi televisivi senza richiedere un accesso locale alla rete fissa di telecomunicazioni (che a volte può essere difficile o perfino impossibile).

I sistemi SNG analogici esistenti per trasmissioni TV di tipo PAL, SECAM e NTSC che usano la modulazione di frequenza (FM) sono utilizzati correntemente sia in banda C che in banda Ku. In Europa i collegamenti per trasmissioni TV via satellite sono comunemente effettuati nella banda Ku (14-14,5 GHz in trasmissione, 10,71-12,75 GHz in ricezione). Tuttavia, nonostante i continui progressi nella progettazione di antenne e amplificatori abbiano permesso di ridurre notevolmente i problemi riguardanti l'ingombro e il peso dell'apparecchiatura analogica per SNG, la trasportabilità è un problema chiave che richiede tuttora adeguate soluzioni nel mondo analogico. Il livello di potenza (EIRP) richiesto alle stazioni trasmittenti di up-link dipende dalla copertura del satellite che riceve il segnale. Nel caso delle stazioni analogiche di *up-link* è tipicamente di 69-75 dBW, variabile in base alle dimensioni dell'antenna e all'amplificatore d'alta potenza (HPA, High Power Amplifier) utilizzato; le dimensioni dell'antenna variano da 1,5 a 2,4 m e le potenze dell'HPA da 300 a 600 W.

L'introduzione in commercio di piccole apparecchiature numeriche per la compressione audio/video e le moderne soluzioni di modulazione e protezione dagli errori hanno però permesso recentemente lo sviluppo di sistemi numerici SNG (DSNG, Digital SNG). Questi sistemi possiedono diversi vantaggi rispetto alla soluzione analogica, tra i quali i più significativi sono la "miniaturizzazione" dei terminali trasmittenti, l'utilizzo di minori potenze di trasmissione (EIRP) ed

un uso più efficiente dello spettro di frequenza. Ciò permette la trasmissione simultanea di più segnali attraverso il transponder del satellite, aumentando la flessibilità d'accesso allo stesso transponder e riducendo il costo per ciascun canale.
La flessibilità insita nella soluzione numerica permette di soddisfare le richieste di qualità più disparate nella trasmissione via satellite di notizie, eventi sportivi e spettacoli, mediante l'utilizzo di algoritmi di compressione audio/video al bit-rate più appropriato. Inoltre, la robustezza del sistema numerico nei confronti del rumore e dell'interferenza offre una qualità costante dell'immagine e del suono alla stazione ricevente, ciò ovviamente fino ad un certo livello soglia del segnale ricevuto.
Prima dello sviluppo dello standard DVB-DSNG i collegamenti numerici TV di contributo via satellite erano basati per quanto riguarda la compressione video sullo standard ETSI 300 174 [1]. Questo sistema era progettato per applicazioni di contributo a 34 e 45 Mbit/s, ma opzionalmente era anche disponibile in versioni ridotte proprietarie a 17 e 8,5 Mbit/s. Il sistema di modulazione e di codifica di canale era basato sulla specifica IDR, che prevede la modulazione QPSK e la codifica convoluzionale. Negli anni 1993-94 il Progetto DVB (Digital Video Broadcasting) ha sviluppato la specifica di un sistema televisivo numerico multiprogramma per trasmissioni via satellite (DVB-S), sotto la diretta responsabilità del Centro Ricerche Rai [2], [3]. Con il successo a livello mondiale di questo sistema si è compreso come esso potesse essere utilizzato anche per le applicazioni DSNG con vantaggi significativi rispetto ai sistemi precedenti [4], sia in termini di costi che in termini di prestazioni e flessibilità.
Nell'estate 1997 il Progetto DVB ha deciso di realizzare, sempre sotto la responsabilità della RAI, una nuova specifica per il DSNG basata sul sistema DVB-S, ma con un certo numero di caratteristiche aggiuntive, tali da rispondere alle varie richieste di tipo commerciale per le applicazioni di contributo.
Il sistema DVB-DSNG (standard EN 301 210) [5] è trasparente per segnali nel formato del flusso di trasporto (TS, Transport Stream) di MPEG-2, e può trasportare segnali video codificati nel formato MPEG-2 Main Profile at Main Level (MP@ML), o, quando sono richieste alta qualità e possibilità avanzate di postproduzione, nel formato 4:2:2 Profile at Main Level (422P@ML). Oltre a questi possono comunque essere trasportati altri profili e livelli MPEG-2, come ad esempio il 422P@HL, adatto per collegamenti di contributo HDTV (High Definition TeleVision, televisione ad alta definizione).
Il sistema DVB-DSNG è basato sulla modulazione QPSK con codifica convoluzionale, schema che, originariamente progettato per servizi televisivi destinati all'utenza domestica (DTH, Direct-To-Home) via satellite in modalità multicanale per portante modulata (MCPC, Multiple Channels Per Carrier), si è rivelato adatto per essere usato efficientemente anche per applicazioni DSNG e di contributo in modalità a singolo canale per portante modulata (SCPC, Single Channel Per Carrier). Ciononostante, per ottenere un'efficienza spettrale più alta in applicazioni meno affette da limitazioni di potenza sono stati aggiunti altri modi di trasmissione opzionali, basati sulle modulazioni 8PSK e 16QAM codificate a traliccio, che permettono un migliore sfruttamento della banda nel caso di applicazioni in cui si disponga di stazioni di terra più potenti (come nel caso di stazioni di up-link montate su mezzi mobili). La principale caratteristica del sistema DVB-DSNG è la flessibilità dello schema di modulazione e codifica, che permette di scegliere la modulazione, la codifica e la velocità di trasmissione, in modo tale da ottimizzare le prestazioni del singolo collegamento via satellite (come l'occupazione di banda e la potenza).
Il DVB ha definito delle soluzioni tecniche specifiche per il trasporto dei segnali MPEG sulle reti terrestri (PDH, SDH), che trasformano i pacchetti del flusso di trasporto TS in celle ATM. Questi adattatori possono essere utilizzati per connettere le stazioni riceventi DSNG agli studi televisivi.

2. Requisiti d'utente del sistema DSNG definiti dal Modulo commerciale del DVB

Le caratteristiche tecniche dei sistemi DVB sono guidate principalmente da esigenze di mercato. Il Modulo Commerciale (CM) del DVB analizza le necessità del mercato e formalizza i "requisiti commerciali d'utente" per il Modulo Tecnico (TM), responsabile dello sviluppo delle specifiche.
In accordo con l'ITU, il CM ha adottato la seguente definizione di SNG (dalla Raccomandazione ITU SNG.770-1): "Trasmissioni temporanee e occasionali di notizie audio/video per scopi trasmissivi TV, usando stazioni terrestri trasmittenti altamente portatili o trasportabili operanti nella struttura di Servizio Satellitare Fissa (FSS)".
Un "terminale" o un "up-link" DSNG è una stazione di terra portatile (o trasportabile) che, da una località remota, trasmette programmi video (con suono associato) o audio, siano essi registrati o in diretta. Questa stazione può essere resa in un formato portatile (detto anche "in valigia") o integrata all'interno di un veicolo.
I terminali trasmittenti DSNG devono essere altamente affidabili ed avere dimensioni e peso ridotti, mentre la stazione ricevente può essere dimensionata in modo da garantire la disponibilità richiesta dal collegamento. Il formato di trasmissione del segnale per ogni applicazione deve garantire sia un'alta robustezza nei confronti del rumore che il miglior sfruttamento possibile della capacità del satellite.
Il sistema deve inoltre essere caratterizzato da rapidità d'intervento e bassa complessità per stabilire il collegamento. In particolare "gli apparati devono essere configurabili ed utilizzabili da non più di due persone in un tempo ragionevolmente breve (per es. 1 ora)". L'interoperabilità fra differenti apparati è ovviamente una caratteristica fondamentale del DSNG, specialmente nell'ambito dello scambio internazionale di programmi.
I collegamenti DSNG sono per natura collegamenti di contributo, le cui qualità oggettive sono definite dalla Rec. ITU-R BT.1121. Il CM ha stabilito che "*non è necessario definire formalmente obiettivi di qualità minori, pur tenendo presente che, in base alle circostanze, possibili riduzioni della qualità possono essere accettate dall'utente. Per collegamenti DSNG, valori tipici di bit-rate usati con stazioni trasmittenti portatili (fly-away) e per piccoli terminali trasportabili sono dell'ordine di 8 Mbit/s, con codifica MPEG-2 MP@ML. Comunque, per stazioni trasportabili*", quando sono richiesti alta qualità e la possibilità di rielaborazione dei programmi, "*dovrebbe essere preferito l'uso del profilo MPEG-2 422P@ML.... In questo caso i bit-rate dovranno essere compresi tra 8 e 34 Mbit/s*".
Per quanto riguarda la multiplazione, sebbene le trasmissioni DSNG di solito trasportino un singolo programma TV con i relativi segnali sonori associati (modalità SCPC), "*si dovrebbe tenere conto del vantaggio derivato dalla flessibilità del multiplatore MPEG-DVB*", che permette la trasmissione simultanea di più programmi (modalità MCPC).
I ritardi di elaborazione dei sistemi di compressione possono essere molto alti (anche oltre 1 secondo), specialmente con i moderni sofisticati algoritmi di codifica che

permettono alti rapporti di compressione del bit-rate. Brevi ritardi di codifica video sono caratteristiche importanti per quelle applicazioni in cui la trasmissione DSNG è legata a programmi in diretta, dal momento che lunghi ritardi potrebbero impedire dialoghi tra i giornalisti in studio e quelli inviati nella località dell'avvenimento.

Gli apparati per il DSNG, opzionalmente, devono poter fornire due o più circuiti di comunicazione bidirezionale via satellite, possibilmente nello stesso transponder in cui vi è il segnale principale DSNG. Questi canali devono essere disponibili prima, durante e dopo la trasmissione DSNG, per collegare l'operatore DSNG, l'operatore satellitare e l'ente televisivo. Questi dispositivi possono anche essere utilizzati per la trasmissione di dati e FAX. La specifica riguardante questi canali di comunicazione [6] è stata terminata nell'autunno del 1998 ed è stata approvata in ambiente ETSI nella primavera del 1999.

Per quanto riguarda il costo della struttura, il CM ha indicato che "deve essere considerato il costo totale del sistema e delle relative operazioni, e non solo il costo del ricevitore. Una parte non trascurabile del costo totale di una trasmissione SNG è dovuta alle richieste di capacità sul satellite. Per ottimizzarne lo sfruttamento, tecniche di modulazione addizionali al QPSK, come l'8PSK e il 16QAM, possono essere considerate ".

3. Codifica di sorgente e multiplazione

Tra i motivi che hanno portato al successo degli standard DVB, molto è dovuto all'adozione di "una soluzione comune" per la codifica video/audio e la multiplazione, per tutti i canali di trasmissione (cioè reti via satellite, CATV, terrestri VHF/UHF e MMDS), rendendo possibile la produzione di massa di chip VLSI per i ricevitori d'utente (Consumer IRD, Integrated Receiver Decoders).

3.1. La codifica video

La codifica MPEG-2 MP@ML può essere usata come soluzione base per la codifica delle immagini nelle applicazioni DSNG. Questa scelta permette alta flessibilità per le applicazioni DSNG potendo operare con bit-rate variabili tra 1,5 e 15 Mbit/s.

I codecodificatori MPEG-2 sono basati sugli algoritmi ibridi DPCM/DCT (Differential Pulse Code Modulation / Discrete Cosine Transform) con compensazione del movimento, che operano su quadri di tipo Intra (I, che sfrutta la sola correlazione spaziale), Predetto (P, che sono ottenuti utilizzando anche l'informazione dei quadri precedenti di tipo I e P con compensazione del movimento) e Bidirezionale (B, che possono utilizzare la correlazione dei quadri I e P precedenti e successivi). Bisogna ricordare che MPEG-2 MP@ML è un sistema 4:2:0 progettato per servizi di distribuzione piuttosto che di contributo. A bit-rate di circa 6 e 9 Mbit/s permette, per i programmi oggi esistenti, una qualità soggettiva equivalente rispettivamente al sistema PAL e alle immagini 4:2:2. Bit-rate più bassi possono essere accettabili per applicazioni specifiche (ad es. film, notiziari, trasmissioni educative), dove limitazioni di banda e di potenza sono predominanti rispetto alle richieste sulla qualità dell'immagine.

Nel 1995, l'MPEG-2 ha definito un "profilo" di codifica dell'immagine per soddisfare le richieste provenienti dal mondo della produzione, che si chiama 422P@ML. Questo sistema offre un numero di caratteristiche aggiuntive compatibili con il formato MP@ML: la velocità di codifica può essere aumentata fino a 50 Mbit/s e la componente di colore mantiene il formato 4:2:2 come il formato di studio non compresso. Questo permette una qualità dell'immagine più alta, una risoluzione cromatica migliore, la possibilità di fare postproduzione dopo la decodifica, e di definire piccoli gruppi di immagini (GoP, Group of Pictures) per migliorare il trattamento del segnale nella forma compressa e abbreviare il ritardo di codifica. Test di qualità oggettiva (con osservatori non esperti e distanza di visione 4H) sono stati effettuati dal Centro Ricerche RAI e da altre organizzazioni [7] su sequenze 422P@ML simulate al computer con generazioni singole e multiple (8 processi di codecodifica) e successive operazioni di postproduzione, in particolare l'intarsio (Chroma-key o colour matte), critico in quanto evidenzia i difetti di codifica.

Sono stati analizzati diversi tipi di strutture GoP:

- una configurazione di tipo Intra, che permette precisione di un quadro nei processi di "editing", a spese di una bassa efficienza di compressione, a 50 e 30 Mbit/s (indicate come I@50 e I@30);
- una costituita da un quadro Intra ed uno Bidirezionale, che permette un buon compromesso tra richieste di editing e rapporti di compressione, a 30 e 20 Mbit/s (indicate come IB@30 e IB@20);
- il tradizionale GoP MP@ML, con 15 quadri di tipo IBBP a 20 Mbit/s (indicato come IBBP@20).

Con riferimento alla scala di qualità a 100 livelli e doppio stimolo, nei documenti MPEG vengono arbitrariamente definiti i seguenti livelli di qualità:

- "trasparente " (da 0 a 12,5);
- "quasi trasparente " (da 12,5 a 20);
- "buona" (da 20 a 40).

Le prove soggettive indicano che, dopo otto processi di codecodifica, le sequenze I@50 (compreso il *chromakey*) e IB@30 soddisfano il criterio di "trasparenza" e, dopo un solo processo di codecodifica, il *chromakey* può essere effettuato in maniera "trasparente" sulle sequenze I@30 e IB@20. Inoltre, tutte le strutture di codifica sono risultate "quasi trasparenti", a parte alcuni test che hanno lievemente superato il livello 20.

In conclusione, per soddisfare l'ampia gamma di livelli di qualità dell'immagine e i bit-rate richiesti dal DSNG e dalle altre applicazioni di contributo, il formato MPEG-2 MP@ML a bit-rate variabile da 1,5 a 15 Mbit/s può coprire le applicazioni dove non è necessaria (o è molto limitata) una postproduzione in studio prima della ritrasmissione, mentre l'MPEG-2 422P@ML a bit-rate da 15 a 30 Mbit/s può coprire applicazioni ad alta qualità, dove sono richieste possibilità di effettuare postproduzione e una serie di codecodifiche in cascata.

In ogni caso si deve tenere conto che le operazioni di *editing* dei flussi di trasporto MPEG-2 in studio, senza decodifica, possono risultare molto difficili a causa di problemi relativi al trattamento dei *clock* e al controllo del sovraccarico dei *buffer* di memoria. Quindi in molti casi i contributi DSNG (indipendentemente dallo schema di compressione adottato) devono essere riconvertiti in studio nel formato 4:2:2, modificati e quindi ricodificati per la trasmissione finale (nel formato MP@ML).

3.2. La codifica audio

Riguardo alla codifica audio, tutti i sistemi DVB, in linea con l'andamento orientato alla standardizzazione internazionale, adottano il metodo di codifica audio MPEG di livello 2, che permette un'ampia gamma di bit-rate (da 64 a 256 Kbit/s) in modo da soddisfare tutte le diverse richieste di servizio. Bit-rate più bassi di 64 kbit/s possono essere applicati per alcune applicazioni DSNG a canali mono. All'interno del DVB si sta anche valutando l'uso opzionale della codifica audio lineare (non compressa) per applicazioni di contributo richiedenti massima qualità sonora.

Il nuovo Standard DVB per il DSNG

3.3. Il multiplex di trasporto e le informazioni di servizio (SI)

Il sistema DVB-S adotta una struttura di trama comune, basata sul multiplex di trasporto MPEG-2, con pacchetti di lunghezza fissa pari a 188 byte, composti da 1 byte di sincronizzazione, 3 di intestazione e 184 utili. Questa struttura permette un semplice interfacciamento tra canali diffusivi e reti di TLC che utilizzano protocolli ATM. Il multiplex è flessibile e permette di convogliare, in un singolo flusso numerico (Transport Stream TS, flusso di trasporto) diversi servizi video, audio e di dati, così come informazioni addizionali (come ad esempio informazioni di servizio, accesso condizionato), permettendo quindi sia servizi a singolo canale per portante modulata (SCPC) che multicanale (MCPC).

Le tabelle DVB-MPEG di informazioni di servizio (SI, Service Information), definite per applicazioni diffusive, descrivono in dettaglio la configurazione del multiplex ed il contenuto del programma, e permettono all'utente un facile accesso ad un'ampia gamma di programmi attraverso la Guida Elettronica dei Programmi (EPG, Electronic Program Guide). L'allegato D della specifica del DSNG tratta un meccanismo semplificato di informazioni di servizio, basato su poche tabelle fisse, evitando così di compilare l'informazione di servizio sul luogo, in modo da accelerare la creazione del collegamento e semplificare i problemi di interoperabilità. È anche fornita l'identificazione della stazione trasmittente, nel caso si verificassero situazioni di emergenza dovute ad interferenza.

Delle tabelle SI definite da MPEG-2, introdotte per descrivere la configurazione del multiplex ed il contenuto del programma nei servizi diffusivi, solo la Programme Associated Table (PAT) e la Programme Map Table (PMT) e la Transport Stream Descriptor Table (TSDT) sono obbligatoriamente mantenute nella specifica DSNG. Nella tabella TSDT, un descrittore indica che si tratta di un flusso di trasporto per le applicazioni di contributo (non per un pubblico di massa). Inoltre, per trasmissioni DSNG, è inserito un altro descrittore che permette un'identificazione veloce della stazione di up-link in caso di problemi di trasmissione (come un accesso errato al transponder o al satellite). Queste strutture SI possono ostacolare la compatibilità con gli IRD del consumatore; quindi, se questa compatibilità è richiesta dall'operatore, tutte le tabelle SI devono essere compilate in accordo con la specifica del DVB-SI.

Dal momento che nessuna correzione di tipo FEC protegge i pacchetti di testa nel flusso TS, è necessario un "adattatore di canale" robusto per fornire un flusso di dati libero da errori all'ingresso del demultiplexer, come descritto nel prossimo paragrafo.

4. Modulazione e codifica di canale

Le prestazioni del sistema di trasmissione DSNG dipendono dai vari componenti della catena via satellite:

- Stazione trasmittente terrestre;
- Segmento di spazio (tratta in salita e in discesa);
- Transponder di bordo del satellite (filtri IMUX - Input Multiplexer, OMUX - Output Multiplexer e amplificatore TWT - Travelling Wave Tube);
- Stazione ricevente terrestre.

Il canale via satellite è tipicamente non lineare, a larga banda e limitato in potenza. I deterioramenti del segnale principale sono dovuti al rumore, all'attenuazione da pioggia e all'interferenza nel segmento di spazio e a possibili disallineamenti fra stazione e apparecchiatura trasmittente e ricevente. Inoltre la non linearità (distorsione di ampiezza e fase) dell'amplificatore non lineare a bordo del satellite (TWTA) è responsabile del degradamento delle prestazioni complessive del sistema.

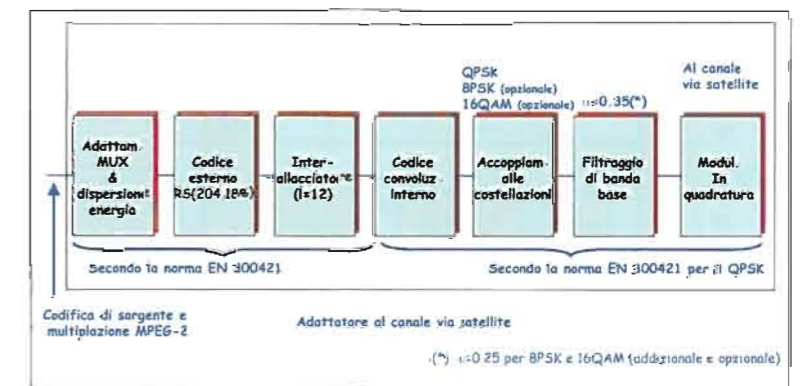
Nel caso dei servizi numerici DTH destinati all'utenza domestica, viene trasmessa una singola portante QPSK sul transponder e solitamente il TWTA del satellite è utilizzato in prossimità del punto di saturazione in modo da massimizzare lo sfruttamento della potenza a bordo del satellite. Gli effetti della non linearità del TWTA sono una distorsione della forma d'onda e una generazione di lobi secondari nello spettro di potenza. In tali applicazioni, a causa delle ridotte dimensioni delle antenne riceventi, la disponibilità del servizio è principalmente limitata dal rumore nella tratta in discesa.

Per applicazioni DSNG e di contributo, il metodo normale di accesso ai transponder è la multiplazione a divisione di frequenza (FDM, Frequency Division Multiplexing), dove parte della banda del transponder ("slot" di frequenza) è allocata a ciascun segnale. In tali configurazioni, per ridurre l'effetto del rumore di intermodulazione introdotto dalle portanti adiacenti presenti sullo stesso transponder, il TWTA deve operare significativamente sotto il punto di saturazione. Le richieste di linearità sono dovute anche al fatto che il segnale FDM aggregato non è più caratterizzato da un inviluppo costante, anche se il segnale singolo può essere ad inviluppo quasi costante (ad es. QPSK e 8PSK). Inoltre, più alta è l'efficienza spettrale dello schema di modulazione/codifica, più stringenti sono le richieste di linearità, a causa della riduzione della robustezza del sistema contro l'interferenza dovuta all'intermodulazione dei segnali adiacenti.

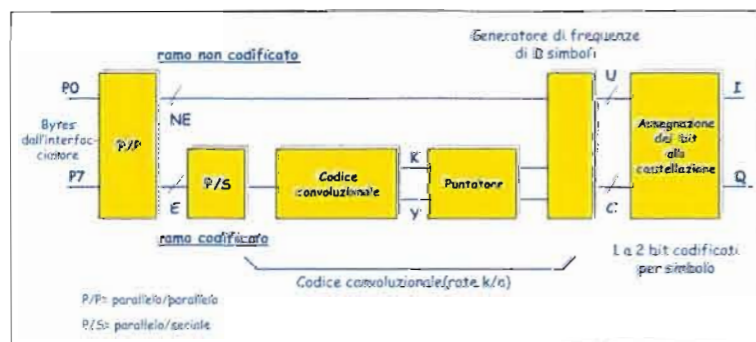
Una trasmissione efficiente e affidabile di segnali televisivi numerici su canali via satellite è focalizzata sul progetto dell'"adattatore di canale", che permette l'adattamento del flusso di bit multiplato video/audio/dati al canale fisico, mediante l'uso di potenti tecniche di modulazione e di codifica di canale. Il sistema DSNG è stato progettato in modo tale da permettere la minimizzazione degli effetti distorcenti del canale di trasmissione, come il rumore additivo, l'interferenza da segnali analogici e numerici, e le distorsioni lineari e non lineari. Il sistema specificato offre diversi modi di trasmissione (modulazioni e codice interno), presentando differenti soluzioni di compromesso tra potenza ed efficienza spettrale.

È stata adottata la modulazione QPSK, e come modulazioni opzionali l'8PSK ed il 16QAM, e la concatenazione di codici convoluzionali e Reed-Solomon. Il modo QPSK è compatibile con il sistema DVB-S definito in [2], mentre per l'8PSK ed il 16QAM è stata adottata la codifica pragmatica a traliccio [8], ottimizzando la protezione contro gli errori dello stesso codice convoluzionale. I modi QPSK e 8PSK, grazie al loro inviluppo quasi costante, sono adatti per operare con gli amplificatori di potenza del satellite in saturazione, in configurazione del transponder a portante singola. Il 16QAM (così come il QPSK e l'8PSK) è adatto per operare su canali via satellite quasi lineari, in applicazioni multiportante di tipo FDM, quando è richiesta una migliore efficienza spettrale.

La figura 1 mostra il diagramma a blocchi funzionale del sistema di trasmissione. Il flusso di dati in ingresso, organizzato in pacchetti di 188 byte, secondo la multiplazione di trasporto MPEG-2 [9], è trattato bit a bit

Fig. 1 - Schema a blocchi funzionale del sistema.

con una sequenza pseudocasuale (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence), che rende lo spettro del segnale trasmesso di forma regolare. Ciò per soddisfare le specifiche del Radio Regolamento ITU, per la dispersione dell'energia, e facilitare il recupero del sincronismo nel ricevitore. Ad ogni pacchetto viene poi applicato il codice accorciato Reed-Solomon RS(204,188,t=8), derivante dall'originale RS(255,239,t=8).

Dal momento che, al ricevitore, gli errori residui all'uscita del decodificatore di Viterbi non sono statisticamente indipendenti, ma raggruppati in gruppi (burst) che possono superare la capacità di correzione del codice RS, un interallacciatore convoluzionale a livello di byte con profondità I pari a 12 viene applicato ai pacchetti. I pacchetti interallacciati sono poi passati al codificatore convoluzionale, che è basato su un codice di rate 1/2 con lunghezza di vincolo pari a 7 (traliccio a 64 stati), e che permette la selezione del livello più appropriato di correzione di errore per un dato servizio o per un certo flusso di dati: la codifica convoluzionale punturata è associata con la modulazione QPSK (in accordo con la specifica del sistema DVB-S [2] e prevede la possibilità di operare con 5 possibili efficienze di codifica diverse: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8; la modulazione codificata a traliccio (TCM) pragmatica è associata alle modulazioni 8PSK e 16QAM. Lo schema base del codificatore pragmatico a traliccio è mostrato in figura 2.

Fig. 2 - Principio di funzionamento del codificatore interno.

Il flusso di byte paralleli all'uscita dell'interallacciatore convoluzionale è convogliato nel convertitore parallelo/parallelo, che separa i bit entranti in due rami, a seconda del modo selezionato di modulazione/codifica interna, e progettato in modo da ridurre, in media, la probabilità di errore sul byte all'ingresso del codificatore RS (forte concentrazione di bit errati in byte), e quindi la probabilità di errore sul bit (BER, Bit Error Rate) dopo RS.

I segnali NE del ramo non codificato generano attraverso il blocco di composizione delle sequenze di simboli, una sequenza di segnali U, ciascuno da trasmettere in un simbolo modulato. Questi bit generano transizioni parallele nel codice a traliccio, e sono solo protetti da una grande distanza Euclidea nello spazio dei segnali. I segnali E nel ramo codificato sono inviati al codificatore convoluzionale punturato. Questi bit generano, attraverso il blocco di composizione delle sequenze di simboli, una sequenza di segnali C, ciascuno da trasmettere in un simbolo modulato. Gli schemi 8PSK 5/6 e 8/9 sono caratterizzati da un bit codificato per simbolo (1CBPS, Coded Bit Per Symbol), mentre gli schemi 8PSK 2/3 e 16QAM 3/4 e 7/8 hanno 2 bit codificati per simbolo (2CBPS). La scelta degli schemi di codifica a traliccio, fra un numero di differenti proposte, è stata fatta dal Centro Ricerche RAI dopo accurate simulazioni al computer. Gli schemi scelti sono quelli che offrono le migliori prestazioni su un canale lineare affetto da rumore gaussiano bianco additivo (AWGN). In caso di prestazioni simili sono stati preferiti gli schemi 1CBPS, dal momento che richiedono una minor velocità di elaborazione da parte del decodificatore TCM di Viterbi confrontati con gli schemi 2CBPS, e quindi permettono l'implementazione di modem a velocità più alta (per applicazioni di contributo ad alta qualità o per trasmissioni MCPC).

Infine il segnale viene filtrato in banda base e modulato. Per tutte le costellazioni, come definito nel sistema DVB-S [2], il filtro utilizzato è a radice di coseno rialzato con fattore di roll-off a=0,35. È possibile l'uso addizionale di un fattore di roll-off a=0,25 per le modulazioni 8PSK e 16QAM in modo da incrementare l'efficienza spettrale per quanto riguarda la larghezza di banda del transponder. Questa scelta è stata fatta dopo lunghe simulazioni al computer effettuate dal Centro Ricerche RAI, che tenevano conto anche degli effetti del TWTA del satellite.

5. Prestazioni del sistema DVB-DSNG su canale Gaussiano

La sensibilità al rumore di trasmissione viene espressa dal rapporto segnale rumore E_b/N_0 richiesto per raggiungere un valore fissato di BER. E_b è l'energia utile per bit e N_0 è la densità spettrale del rumore gaussiano bianco (AWGN, Additive White Gaussian Noise). Il sistema DVB-DSNG è stato progettato per fornire segnale quasi privo di errori (QEF, Quasi Error Free), cioè caratterizzato da meno di un evento errore non corretto in un'ora di trasmissione all'ingresso del demultiplexer MPEG-2. Questo obiettivo, raggiungibile con la correzione degli errori tramite l'interallacciatore e il codice RS, corrisponde approssimativamente ad un BER di 2×10^{-4} all'uscita del decodificatore di Viterbi e ad una probabilità d'errore sul byte compresa tra 7×10^{-4} e 2×10^{-5}.

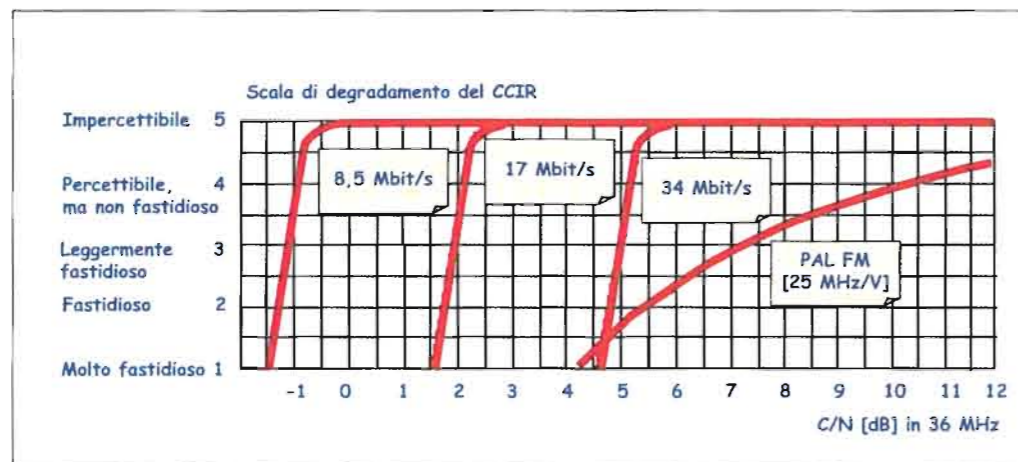
Bisogna notare che queste valutazioni considerano solo rumore stazionario e demodulazione ideale mentre gli effetti del rumore di fase e le instabilità del recupero della portante potrebbero generare burst di errori non correggibili separati da ampi intervalli di tempo. Poiché gli schemi di codifica DVB-DSNG non sono invarianti alle rotazioni (la scelta ha privilegiato schemi che permettessero di ottimizzare le prestazioni in termini di BER, anche perché nella maggior parte dei casi non erano disponibili schemi pragmatici invarianti alle rotazioni), nel progetto del sistema bisognerebbe dedicare molta attenzione allo sviluppo dei convertitori di frequenza ed ai sistemi di recupero di portante per evitare errori ciclici e salti di fase, che potrebbero portare ad interruzioni del servizio.

La tabella 1 mostra le specifiche di prestazioni IF del sistema per i differenti modi, in

Tabella 1
Prestazioni IF del sistema DSNG

Modulazione	Codice interno rate	Efficienza spettrale [bit/symbol]	Margini di implementazione del modem [dB]	Eb/N0 richiesto [dB] (BER = 2×10^{-4} dopo Viterbi)
	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5,0
QPSK	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6,0
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1,0	6,9
(opzionale)	5/6	2,30	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16QAM	3/4	2,76	1,5	9,0
(opzionale)	7/8	3,22	2,1	10,7

Il nuovo Standard DVB per il DSNG

Fig. 3 - Degradamento dell'immagine in funzione di C/N: TV numerica (QPSK-3/4) e analogica FM su un canale via satellite.

termini del rapporto segnale rumore E_b/N_0 necessario per fornire una BER pari a 2×10^{-4} dopo il decodificatore interno. I valori di E_b/N_0 sono riferiti al bit-rate utilizzabile R_u (formato 188 byte, prima della codifica RS), e tengono in conto del fattore 10 Log 188/204 ≅ 0,36 dB, dovuto al codice esterno RS, e dei margini di implementazione del modem. Per il QPSK i valori sono derivati da [6]. Per l'8PSK ed il 16QAM sono adottati margini di implementazione del modem che aumentano con l'efficienza spettrale per far fronte alla maggior sensibilità associata a questi schemi.
La robustezza contro il rumore della TV numerica (QPSK 3/4) e del PAL/FM analogico sul canale del satellite è mostrata in figura 3. Il peggioramento di qualità è espresso in termini di rapporto di potenza segnale/rumore C/N, assumendo come riferimento un ricevitore analogico con larghezza di banda B_{RX} pari a 36 MHz, che è tipica delle trasmissioni FM/TV via satellite con deviazione di frequenza di 25 MHz/V. Per avere un confronto corretto, il sistema numerico opera nella configurazione a "singolo segnale per transponder", e il rapporto C/N è misurato nella stessa larghezza di banda B_{RX} di 36 MHz come per il segnale analogico (deve essere considerato un peggioramento addizionale di circa 1 dB sul transponder):

$$C/N\ (dB) = E_b/N_0\ |dB| + 10\ Log\ (R_u/\ B_{RX})$$

Dalla figura 3 si può vedere come un segnale DSNG a 17 Mbit/s, per fornire una qualità vicina a quella di contributo, richiederebbe un C/N di circa 3 dB per operare in modo QEF contro 12-13 dB richiesti dal PAL/FM analogico per ottenere una qualità dell'immagine accettabile. Se la velocità di trasmissione si riduce a 8,5 Mbit/s, che è quella richiesta per applicazioni DSNG con qualità PAL, il C/N richiesto si avvicinerebbe a 0 dB.

Grazie a queste prestazioni la soluzione numerica è quindi capace di mantenere in pratica la qualità dell'immagine e del suono della sorgente "compressa", fornendo quel margine adeguato contro l'attenuazione da pioggia che è richiesta da un attento progetto del link budget in modo da operare sopra la soglia della continuità del servizio.

6. Esempi di utilizzo del sistema

Una delle principali caratteristiche del sistema DVB-DSNG è la flessibilità, che permette di selezionare caso per caso la modulazione, la velocità di simbolo e la velocità di codifica in modo da ottimizzare le prestazioni del collegamento via satellite

(cioè l'occupazione spettrale sul transponder del satellite e le specifiche di potenza). D'altra parte per avere una buona interoperabilità e una rapida impostazione del collegamento in situazioni di emergenza, la specifica del DSNG richiede che almeno una installazione definibile dall'utente sia disponibile nella apparecchiatura DSNG. Tale impostazione include i parametri della codifica video/audio, lo schema di modulazione e la velocità di simbolo.
Le applicazioni DSNG solitamente sfruttano la larghezza di banda del satellite nella configurazione FDM, nonostante il sistema DSNG sia anche adattabile per trasmissioni a singola portante. Nelle configurazioni a singola portante la velocità di simbolo R_s può essere adattata alla larghezza di banda del transponder BW (a –3 dB), in modo da raggiungere la massima capacità di trasmissione compatibile con una degradazione accettabile del segnale dovuta alle limitazioni di banda del transponder. Per tenere in conto possibili instabilità dovute a temperatura o ad usura si deve far riferimento alla maschera della risposta in frequenza del transponder.
Nella configurazione FDM multiportante, R_s può essere adattato allo slot di frequenza BS allocato al servizio dal piano delle frequenze, per ottimizzare la capacità di trasmissione e nello stesso tempo mantenere l'interferenza mutua tra portanti adiacenti ad un livello accettabile.
La figura 4 mostra degli esempi di massimo bit-rate utilizzabile R_u dal sistema in funzione delle larghezze di banda allocate BW o BS. R_s corrisponde alla larghezza di banda a –3 dB del segnale modulato. $R_s\ (1+\alpha)$ corrisponde alla larghezza di banda teorica del segnale complessivo dopo il modulatore. In questi esempi i valori adottati di BW/R_s o BS/R_s sono $\eta=1+\alpha=1,35$ dove α è il fattore di roll-off della modulazione. Questa scelta permette di ottenere una degradazione trascurabile in termini di E_b/N_0, dovuta alle limitazioni di banda del transponder e anche all'interferenza da canali adiacenti su canale lineare. Più alti bit-rate possono essere raggiunti con il fattore di roll-off più stretto $\alpha=0,25$ (opzionale per 8PSK e 16QAM) e con BW/R_s o BS/R_s uguale a $\eta=1+\alpha=1,25$.
Rapporti di BW/R_s o BS/R_s diversi da $1+\alpha$ possono essere adottati per richieste di servizio differenti, ma l'uso di valori significativamente più bassi di $1+\alpha$ (ad es. $\eta=1,21$ associato con $\alpha=1,35$), per migliorare lo sfruttamento dello spettro, dovrebbero essere studiati attentamente caso per caso, dal momento che potrebbero sorgere gravi degradazioni delle prestazioni a causa delle

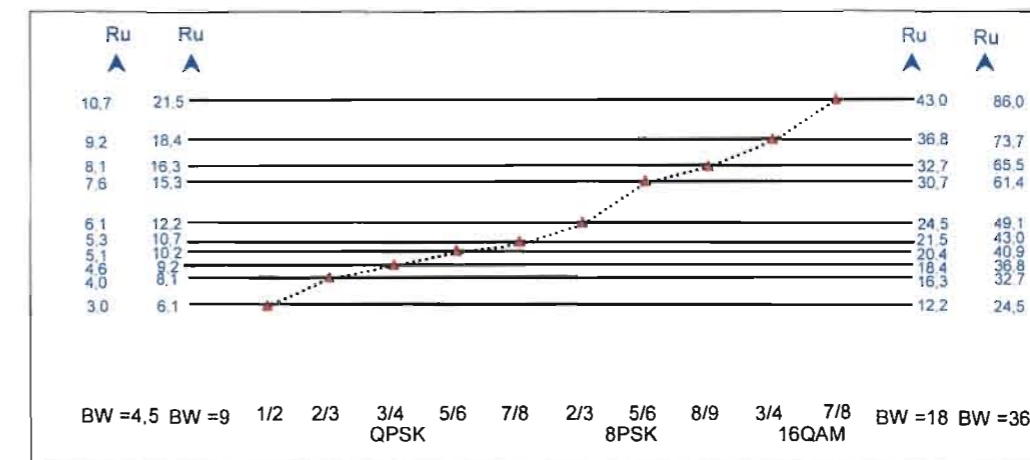



Fig. 4 - Capacità del sistema in funzione della banda disponibile.

Tabella 2
Esempi di configurazione del sistema, nel modo SCPT (Single Carrier Per Transponder)

Banda del Satellite BW (a -3 dB)	Configurazione del sistema	Velocità di simbolo R_S [Mbaud]	Bit Rate R_u (dopo il MUX) [Mbit/s]	E_b/N_0 (da norma) [dB]
36	QPSK 3/4	27,500	38,015	5,5
36	8PSK 2/3	27,500	50,686	6,9

limitazioni di banda e/o delle interferenze da canale adiacente, specialmente con modulazioni 8PSK e 16QAM e alte velocità di codifica (5/6 o 7/8).
La Tabella 2 mostra possibili esempi di uso del sistema nella configurazione a singola portante per transponder. Differenti configurazioni di modulazione/codifica sono riportate con i rispettivi bit-rate. In accordo alle tipiche applicazioni pratiche viene considerato un rapporto BW/R_S pari a 1,31 che offre un'efficienza spettrale lievemente migliore degli esempi di figura 4 per gli stessi schemi di modulazione/codifica. La larghezza di banda del transponder di 36 MHz è abbastanza ampia da permettere trasmissioni SCPC 422P@ML ad alta qualità, così come trasmissioni MCPC MP@ML e 422P@ML. Le modulazioni ad inviluppo quasi costante, come il QPSK e l'8PSK, sono efficienti in potenza nella configurazione per portante singola nel transponder, dal momento che possono operare su transponder vicini alla saturazione. Contrariamente, il 16QAM non è efficiente in potenza in questa configurazione, visto che può solo operare su transponder quasi lineari (cioè con alti Output-Back-Off, OBO). Inoltre, si deve tenere conto che l'uso del roll-off più stretto α=0,25 con la modulazione 8PSK può aumentare il degradamento non lineare del satellite.
Analogamente la Tabella 3 considera possibili esempi di uso del sistema nella configurazione FDM multiportante e nel modo SCPC. Differenti configurazioni di modulazione/codifica sono riportate con i rispettivi bit-rate. I valori di E_b/N_0 si riferiscono alla specifica IF ricezione QEF. Il degradamento totale dovuto alle distorsioni lineari, non lineari e per interferenza del satellite deve essere valutato caso per caso; valori tipici sono dell'ordine di 0,5 e 1,5 dB.
Sono state portate avanti valutazioni del link budget per stimare quali caratteristiche debbano avere le stazioni terrestri per garantire certi requisiti di continuità del servizio (ad esempio il 99,9% o il 99,6% dell'anno medio) in Italia, su un tipico satellite nella banda Ku con copertura europea per le tratte in salita e in discesa. Sono state considerate due locazioni rappresentative per l'up-link: (a) un caso tipico (Palermo, Zona climatica ITU K) ed un caso critico (Torino, zona climatica ITU L); per la ricezione si è ipotizzata la città di Roma (zona climatica ITU K).
Per poter paragonare in modo equo i risultati, i link budget sono stati ottimizzati per ogni collegamento, anche se è chiaro che per l'operazione in Italia dovrebbe essere scelta un'unica configurazione dei parametri di trasmissione, come il guadagno del satellite. Per applicazioni di tipo DSNG si è cercato di minimizzare la dimensione dell'antenna di up-link, trascurando l'eventualità di voler ricevere i segnali TV trasmessi attraverso il terminale DSNG. Per collegamenti di contributo, tra stazioni fisse, sono state considerate antenne di dimensioni equivalenti in trasmissione e ricezione, per permettere scambi bidirezionali di materiale televisivo.

Le caratteristiche di collegamento adottate sono le seguenti:

Terminali di Up-link:
- località: Torino (zona climatica ITU L), Palermo (zona climatica ITU K);
- frequenza: 14,29 GHz;
- efficienza d'antenna: 60%;
- perdite d'accoppiamento: 0,3 dB;
- perdite di puntamento: 0,3 dB;
- OBO: 2 dB per il QPSK e l'8PSK, 6 dB per il 16QAM.

Propagazione sulla tratta in salita:
perdite atmosferiche ed attenuazione da pioggia:
- 0,2+5,6 dB (Torino), 0,1+3,9 dB (Palermo) per il 99,9% dell'anno medio (a.y., average year):
- 0,2+2,9 dB (Torino), 0,1+2,0 dB (Palermo) per il 99,6% a.y.

Satellite:
- G/T(dB/°K): 4,3 (Torino), 3,6 (Palermo);
- IPFD (Isotropic Power Flux Density) per la saturazione (dal contorno a -0,5 dB/°K): variabile (valore nominale -80 dBW/m²);
- EIRP trasmesso alla saturazione: 46,5 dBW (verso Roma);

Propagazione sulla tratta in discesa:
perdite atmosferiche ed attenuazione da pioggia su Roma:
- 0,1+2,4 dB per il 99,9% a.y.;
- 0,1+1,2 dB per il 99,6% a.y.

Stazione ricevente:
- località: Roma (zona climatica ITU K);
- frequenza: 10,99 GHz;
- efficienza d'antenna: 60%;
- perdite d'accoppiamento: 0,5 dB;
- perdite di puntamento: 0,5 dB;
- cifra di rumore LNB: 1,1 dB.

Il metodo di analisi del collegamento si basa sui valori della Tabella 1 (prestazioni IF del sistema) e su simulazioni al computer per stimare le perdite del margine di rumore dovute all'elemento non lineare, i livelli di potenza dei segnali all'ingresso e all'uscita e le interferenze di intermodulazione (C/I) tra segnali, seguendo il metodo di analisi semplificato descritto nell'Appendice A [10], [11]. È stato introdotto un margine addizionale per il collegamento di 1 dB, in modo da far fronte alla possibile imprecisione del metodo di analisi semplificato. Il bilanciamento dei parametri di collegamento è stato effettuato sulla base di un requisito di continuità di servizio (99,9% o 99,6% dell'anno medio) in pre-

Tabella 3
Esempi di configurazione del sistema via satellite trasmissioni multiportante FDM, modo SCPC

Banda del Satellite BW [MHz]	Slot BS [MHz]	Numero di Slot in BW	Codifica Video	Modo di funzionamento del sistema	Velocità di simbolo [Mbaud]	BS/RS [Hz/Baud]	Bit Rate R_u [Mbit/s]	Eb/N0 [dB] (da norma)
36	9	4	MP@ML	QPSK 3/4	6,1113	1,47	8,4480	5,5
36	18	2	422P@ML	QPSK 7/8	13,3332	1,35	21,5030	6,4
36	12	3	422P@ML	8PSK 5/6	9,3332	1,28	21,5030	8,9
36	9	4	422P@ML	16QAM 7/8	6,6666	1,35	21,5030	10,7

Il nuovo Standard DVB per il DSNG

Il nuovo Standard DVB per il DSNG

senza di fading sull'up-link; successivamente è stata verificata la disponibilità di margini positivi sul collegamento con fading sul down-link (per la stessa disponibilità del servizio).
La Tabella 4 mostra i risultati di questa analisi per un transponder a 36 MHz. Dagli esempi della Tabella 4 si possono dedurre le seguenti considerazioni. Per le applicazioni DSNG, possono essere posizionati in un transponder a 36 MHz quattro segnali QPSK 3/4 a 8 Mbit/s (slot di frequenza di 9 MHz, vedere prima riga in Tabella 4). In questa configurazione, possono essere usati terminali di up-link fly-away molto piccoli, con EIRP nella gamma 56-59 dBW, e che usano antenne riceventi di 3 m. Quando è necessaria una qualità d'immagine più alta, come per MPEG-2 422P@ML a bit-rate di 21,5 Mbit/s, pur mantenendo piccola l'antenna del terminale di up-link DSNG (1,5 m), lo sfruttamento della larghezza di banda del satellite deve essere ridotto da quattro a due segnali FDM (riga 2 in Tabella 4). Questa configurazione richiede un'antenna ricevente più grande (4 m). Usando segnali 8PSK 5/6 (righe 3 e 4 in Tabella 4), tre o quattro portanti possono occupare il transponder del satellite, mettendo a disposizione, rispettivamente, bit-rate di circa 20 e 15 Mbit/s. Tali configurazioni richiedono stazioni DSNG grandi montate su veicoli (diametro d'antenna di 2,4 m) e grandi antenne riceventi (diametro di 6 m). Risultati significativamente migliori, in termini di diametri d'antenna richiesti, si possono ottenere usando satelliti con coperture di up-link minori (ad esempio nazionali invece che europee), che dotati di più grandi G/T, direttamente migliorano le prestazioni di up-link.
Per collegamenti fissi di contributo, sono spesso richiesti alti bit-rate (segnale video MPEG-2 422P@ML) e alta efficienza spettrale. Negli esempi della Tabella 4 (righe 5 e 6), quattro segnali 16QAM a 18,4 o a 21,5 Mbit/s sono allocati in slot di frequenza di 9 MHz, usando grandi stazioni trasmittenti e riceventi (antenne da 6 a 8 m). A 21,5 Mbit/s, a causa delle specifiche di alto C/N+I del 16QAM a rate 7/8, viene accettata una disponibilità di servizio lievemente ridotta per mantenere i diametri d'antenna ad un livello accettabile.
Bisogna notare che nei tipici ambienti operativi l'ottimizzazione dell'impostazione del guadagno del transponder (vedere "IPFD alla saturazione" in Tabella 4) è limitata a circa ± 3dB rispetto all'impostazione di guadagno nominale, in modo da mantenere bilanciati i livelli di potenza di up-link nei transponder cross-polari ed evitare gravi problemi di interferenza nell'up-link. Tuttavia, negli esempi dati è stato permesso un adattamento significativamente più ampio (nella gamma che va da +7 a –19 dB), che richiede un attento controllo dell'interferenza da parte dell'operatore del satellite. Ciò è necessario con le modulazioni di alto livello che richiedono alti rapporti C/N+I nell'up-link e una buona linearità del transponder.

Tabella 4
Esempi d'uso del sistema DSNG e applicazioni di contributo
N segnali numerici in FDMA in un trasponder da 36 MHz

Segnali			Terminale di UP-LINK						Satellite		Stazione RX		
N	Bit-rate utile [Mbit/s]	Modulazione & codifica	N	Target di disponibilità del servizio (A) %	Tipologia di servizio	Zona climatica ITU	Potenza HPA (B) [W]	Diametro d'antenna [m]	EIRP (C) [dBW]	IPFD (D) [dBW/m²]	IBO (E) per portante [dB]	OBO (E) totale [dB]	Diametro d'antenna [m]
1	8,448	QPSK	4	99,9	DSNG	L	110	0,9	58,5	-84	15,7	4,2	3
		3/4			flyaway	K	70		56,5	-87	15,2	3,9	
2	21,50	QPSK	2	99,9	DSNG	L	100	1,5	62,5	-82	13,7	3,7	4
		7/8			Veicolo	K	70		61,0	86	11,8	2,7	
3	20,48	8PSK	3	99,9	DSNG	L	230	2,4	70,2	-70	18,0	6,6	6
		5/6			Veicolo	K	90		66,1	-74	18,6	7,1	
4	15,357	8PSK	4	99,9	DSNG	L	300	2,4	71,4	68	18,9	6,8	6
		5/6			Veicolo	K	75		65,3	-74	19,4	7,2	
5	18,43	16QAM	4	99,9	Fisso	L	250	7	75,9	62	20,4	8,0	7
		3/4			Contrib.	K	60	6	68,3	-71	19,4	7,3	6
6	21,50	16QAM	4	99,6	Fisso	L	60	8	70,8	-67	20,4	8,1	8
		7/8			Contrib.	K	70	7	70,3	-68	20,4	8,1	7

(A) percentuale dell'anno medio; con fading sull'up-link; (B) alla saturazione;
(C) per OBO=2 dB (QPSK e 8PSK), 6dB (16QAM; (D) IPFD per up-link al confine a -0,5 dB/°K; (E) Nominale a cielo chiaro

7. Conclusioni

Il sistema DVB-DSNG offre vantaggi significativi in termini di qualità dell'immagine (codifica MPEG-2 con formato dell'immagine 4:2:0 e 4:2:2), flessibilità di modulazione/codifica e rapide impostazioni del collegamento di up-link per le applicazioni DSNG.
Grazie alla sua flessibilità esso permette di raggiungere i compromessi richiesti tra robustezza contro rumore e interferenza ed efficienza spettrale. Per esempio in un tipico satellite europeo possono essere allocati da uno a quattro segnali numerici TV in un transponder con larghezza di banda di 36 MHz, in FDM. I risultati del link budget indicano che, usando la modulazione QPSK, possono essere instaurati servizi DSNG a 8 Mbit/s con piccoli terminali fly-away che usano diametri d'antenna di 0,9 m. Quando è richiesta una qualità d'immagine più alta (cioè da 15 a 21 Mbit/s), usando modulazioni QPSK o 8PSK, possono essere stabiliti servizi DSNG tramite terminali montati su veicoli (diametri d'antenna fra 1,5 – 2,4 m). Nel caso di collegamenti fissi di contributo ad alti bit-rate (cioè da 18 a 21 Mbit/s), può essere scelta la modulazione 16QAM per aumentare lo sfruttamento del segmento di spazio, pagando il prezzo di una dimensione maggiore delle antenne trasmittenti/riceventi (cioè diametri da 6 a 8 m).
Globalmente si può quindi dire che il nuovo standard DSNG rappresenta un significativo passo avanti nei collegamenti DSNG e di contributo fissi via satellite.

Ringraziamenti
Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Mauro Icovi per i preziosi suggerimenti nella definizione dei requisiti di servizio.

Bibliografia

1 ETS 300 174: *Network Aspects, Digital Coding of component television signals for contribution quality applications in the range 34-45 Mbit/s*

2 - ETS 300 421: *Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for 11-12 GHz satellite services*, March 1996.

3 - M. Cominetti, A. Morello, M. Visintin: *Digital Multi-programme TV/HDTV by satellite*, "EBU Technical Review", No. 256, summer 1993.

4 - M. Cominetti, R. Vitalone: *Satellite News Gathering (SNG) - The digital solution*, "ASBU/ITU Symposium", Hammamet, 23-25 October 1996

5 - EN 301 210: DVB: *Framing structure, channel coding and modulation for DSNG and other contribution applications by satellite*

6 - EN 301 222: DVB: *Co-ordination Channels associated with Digital Satellite News Gathering (DSNG)*

7 - Barbero e altri: *Towards Digital Production and Storage of Compressed Video: How to Find the Right Path?*, "Broadcast Asia '96 Conference Records"

8 - A. Viterbi e altri: *A pragmatic approach to trellis-coded modulation*, "IEEE Comm. Magazine", July '89

9 - ISO/IEC 13818-1: *Coding of moving pictures and associated audio*

10 - A. Morello, M. Visintin: *Transmission of TC-8PSK digital television signals over Eurovision satellite links*, "EBU Technical Review", N.269, Autumn 1996

11 - A. Morello, V. Mignone: *The new DVB standard for Digital Satellite News Gathering*, "IBC'98 Conference", September 1998

Appendice A
Metodo di analisi semplificato

Per poter effettuare una stima di massima delle prestazioni del sistema DSNG in condizioni operative differenti (come potenza in trasmissione, punto di funzionamento dell'amplificatore sul satellite, densità spettrali di potenza del rumore, ecc.), senza dover effettuare lunghe simulazioni al calcolatore, è stato elaborato un metodo di analisi semplificato [10]. È stata definita una suddivisione nominale della banda allocata di 36 MHz rispettivamente di 18 MHz nel caso di FDM con due portanti sul transponder, 12MHz nel caso di tre e 9 MHz nel caso di quattro. Il metodo analizza il segnale indicato come *b* in figura A.1, che rappresenta il segnale centrale nella configurazione a tre portanti ed il secondo segnale nelle altre due configurazioni.
Le figure A.2 e A.3 mostrano rispettivamente le caratteristiche AM/AM e AM/PM del TWTA, e la risposta in frequenza dei filtri IMUX (Input MUltipleXer) e OMUX (Output MUltipleXer) del satellite (OMUX), adottati nelle simulazioni. La banda totale del transponder del satellite è di 36 MHz (a -3dB) ed il ritardo di gruppo agli estremi della banda di circa 50-60 ns.

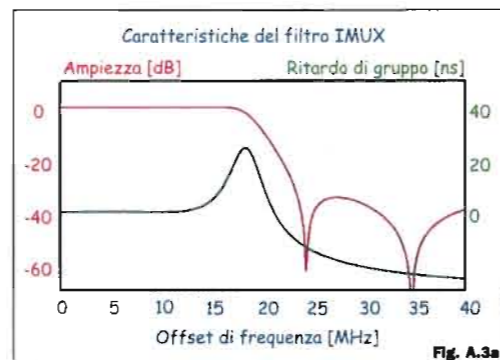
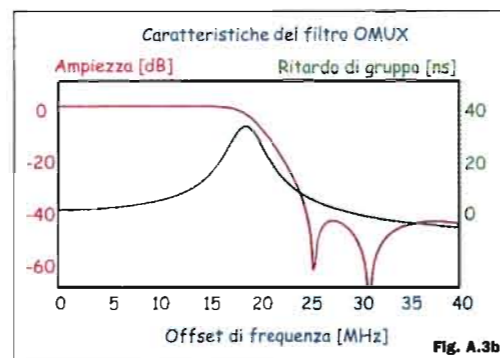
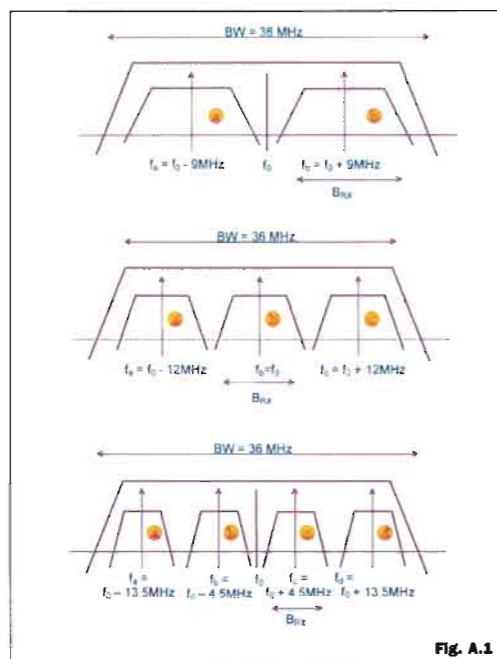



Fig. A.1 - Configurazione FDM in un transponder da 36 MHz nel caso di due, tre e quattro portanti.

Fig. A.2 - Caratteristiche simulate AM/AM e AM/PM del TWTA.

Fig. A.3a - Caratteristiche simulate di ampiezza e ritardo del gruppo dei filtri IMUX e OMUX. Filtro IMUX.

Fig. A.3b - Caratteristiche simulate di ampiezza e ritardo del gruppo dei filtri IMUX e OMUX. Filtro OMUX.

Fig. A.2

Fig. A.3a

Fig. A.3b

Fig. A.1

In figura A.4 vengono riportate le curve di OBO_b (il back-off in uscita del segnale *b* rispetto alla potenza di saturazione del transponder) in funzione di IBO_b (il back-off in ingresso del segnale *b* rispetto alla potenza di saturazione del transponder), per diversi valori del back-off in ingresso dei segnali interferenti $IBO_{a,c,d}$. I risultati, ottenuti mediante simulazioni al calcolatore, si riferiscono alle tre possibili configurazioni analizzate con due, tre o quattro segnali nel transponder. I segnali interferenti sono stati modulati con un segnale QPSK, mentre il segnale desiderato era rappresentato da una portante non modulata (figura A.5); ciò per poter misurare la potenza utile ricevuta utilizzando un filtro a banda stretta (200 kHz) centrato sul segnale *b*, ed eliminare l'interferenza dagli altri segnali.
La figura A.4 mostra il caso con N=4. In prima approssimazione, i casi con N=2 ed N=3 possono essere derivati dalla figura A.4, mediante la formula di conversione:

$$OBO_b(N)=OBO_n(4)+10\cdot\log_{10}(N/4).$$

Le modulazioni 8PSK e 16QAM danno approssimativamente gli stessi risultati, che quindi non sono stati riportati.

Nel metodo di analisi semplificato sono state considerate le seguenti fonti di degradamento sul collegamento:

- **Rumore Gaussiano**: Trascurando la compressione del rumore sul TWTA del satellite, si assume che il rumore sulla tratta in salita ed in discesa del collegamento abbiano lo stesso effetto sulla probabilità d'errore del sistema a parità di potenza, e che le potenze possano essere liberamente sommate.

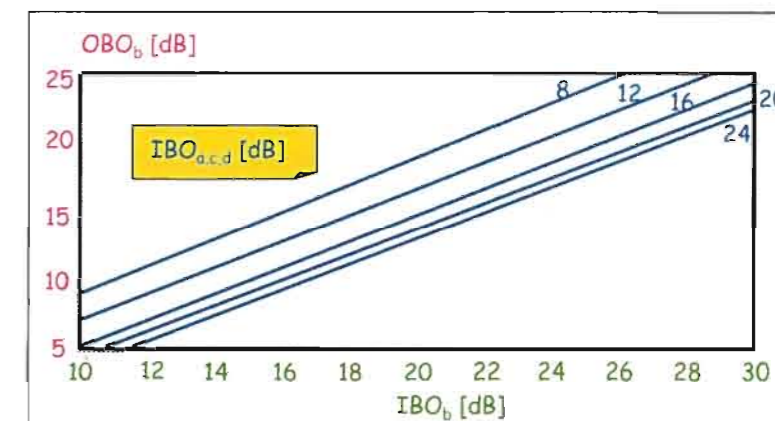
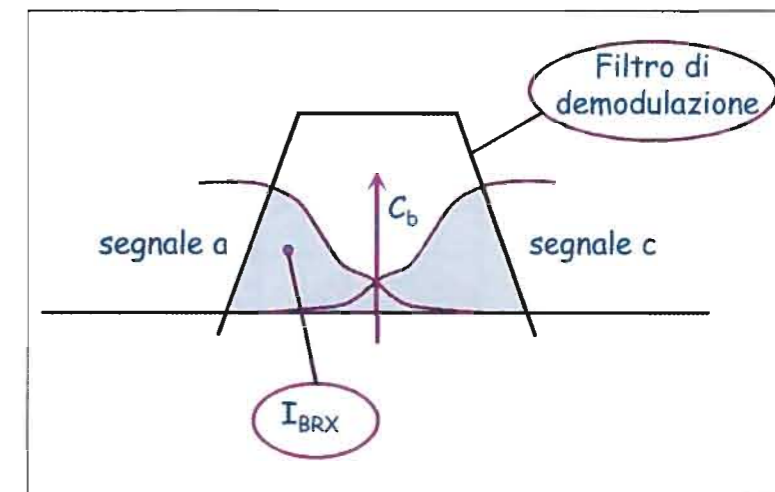



Fig. A.4 - OBO_b in funzione di IBOb per diversi valori di $IBO^{a,b,c}$ nel caso di 4 segnali per transponder (ricavati mediante simulazione al calcolatore.

- **Interferenza (intermodulazione) da segnali adiacenti in FDM**: Assumendo che la spaziatura tra le portanti sia maggiore della banda totale, compreso il roll-off, l'interferenza mutua tra i segnali sulla tratta in salita del collegamento quasi lineare è trascurabile.

Sulla tratta in discesa, si assume che l'interferenza abbia effetti sul collegamento simili al rumore e che interferenza e rumore siano sommabili. In altre parole si assume che un segnale interferente di potenza I_{BRX} (nella banda del ricevitore) dia origine ad uno stesso valore di BER di un rumore gaussiano di

Fig. A.5 - Misura della potenza interferente I_{BRX} nel filtro di demodulazione.

uguale potenza (cioè $N_{BRX}=I_{BRX}$). Questa approssimazione trascura il fatto che l'inviluppo dei segnali di intermodulazione non è gaussiano e che è correlato con il segnale stesso. Da notare che i contributi di rumore ed interferenza devono essere calcolati e sommati dopo essere stati filtrati dal filtro di ingresso del ricevitore (con banda equivalente di rumore B_{RX} uguale al symbol rate R_s). Un problema pratico sta nel valutare la potenza interferente (I_{BRX}) senza rimuovere il segnale utile e modificare il punto di lavoro del satellite. Nelle simulazioni, si sono considerati segnali interferenti modulati e segnale utile non modulato (figura A.5).
La potenza interferente è stata misurata filtrando il segnale con un filtro elimina-banda, centrato alla frequenza della portante non modulata e con banda di ricezione 200 kHz. Il parametro C_b corrisponde alla potenza di saturazione del TWTA attenuata di OBO_b. La figura A.6, ottenuta mediante simulazioni al calcolatore, mostra le curve di $(C/I)_b$ per il segnale desiderato *b* in funzione di IBO_b, per diversi valori di $IBO_{a,c,d}$ degli altri segnali, valutate per le diverse configurazioni FDM e modulazioni.

- **Interferenza intersimbolica:**

L'interferenza intersimbolica (Inter-Symbol Interference, ISI) prodotta dall'elemento non lineare del TWTA dipende dal punto di lavoro (IBO), funzione non solo della potenza del segnale stesso, ma anche dagli altri segnali mescolati nel transponder. Nel metodo di analisi semplificato, si assume che il degradamento dovuto all'ISI nella configurazione FDM sia pari a quello ottenibile nella configurazione a singolo segnale, per lo stesso IBO totale (rappresentato dalla somma delle potenze di segnale in ingresso). Nel caso di una singola portante, la perdita di margine di rumore D_{ISI} rispetto al canale AWGN tende a 0 dB per alti valori del back-off (TWTA quasi lineare), e cresce in maniera diversa a seconda della modulazione e dello schema di codifica spostando il punto di funzionamento del TWTA verso la saturazione. In figura A.7 sono riportate le curve della perdita di margine di rumore D_{ISI} rispetto al canale AWGN per tre schemi rappresentativi DSNG. Dal momento che la variazione di D_{ISI} con il rapporto di codifica è piccola (decimi di dB per i punti di lavoro tipici dei TWTA nelle configurazioni FDM), nel calcolo dei link budget sono state utilizzate le curve di figura A.7 per ogni rapporto di codifica.

- **Interferenza da segnali numerici cocanale cross-polarizzati:** Si assume che l'interferenza da segnali numerici cocanale in polarizzazione incrociata abbia effetti simili sulle prestazioni del sistema di un rumore gaussiano di uguale potenza nel filtro di ricezione. Quando il transponder cross-polarizzato trasporta la stessa configurazione di segnale del transponder desiderato, la potenza interferente (I) è uguale alla potenza voluta (C) attenuata dalla discriminazione di cross-polarizzazione d'antenna (Cross Polar Discrimination, XPD): C/I = XPD. Negli esempi di Tabella 4, l'interferenza cross-polare non è stata considerata.

Il metodo di analisi semplificato descritto in questa Appendice somma tutti i contributi di potenza interferente, intermodulazione e rumore (valutati nella banda di ricezione) e valuta il C/(N+I) disponibile sul satellite, e lo paragona con il C/(N+I)

Fig. A.6 - Curve di (C/I)b verso IBOb, per diversi valori di $IBO_{a,c,d}$ (risultati di simulazione).

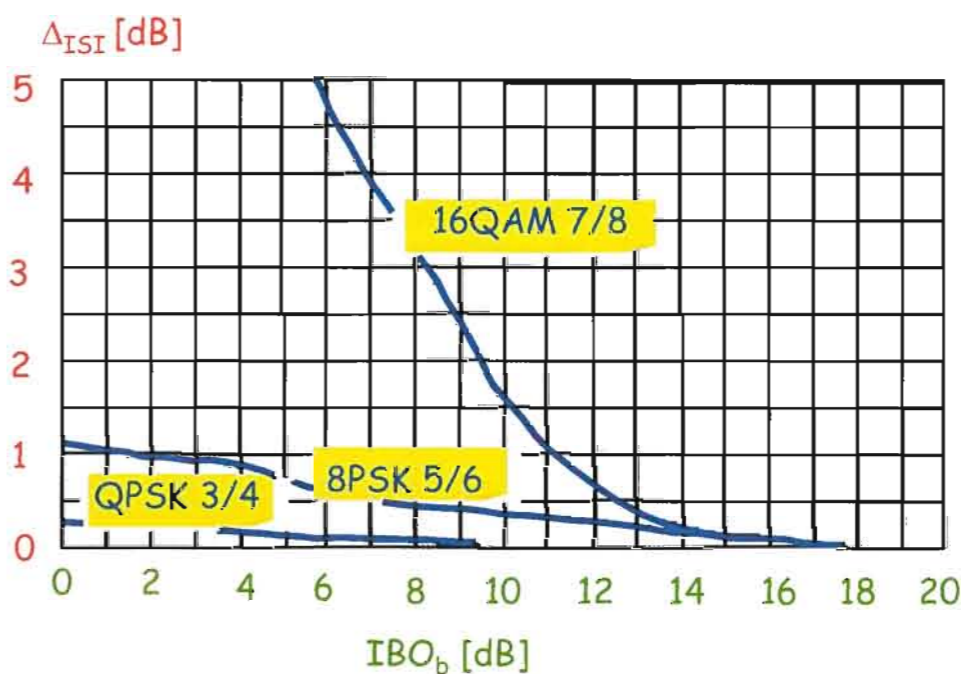
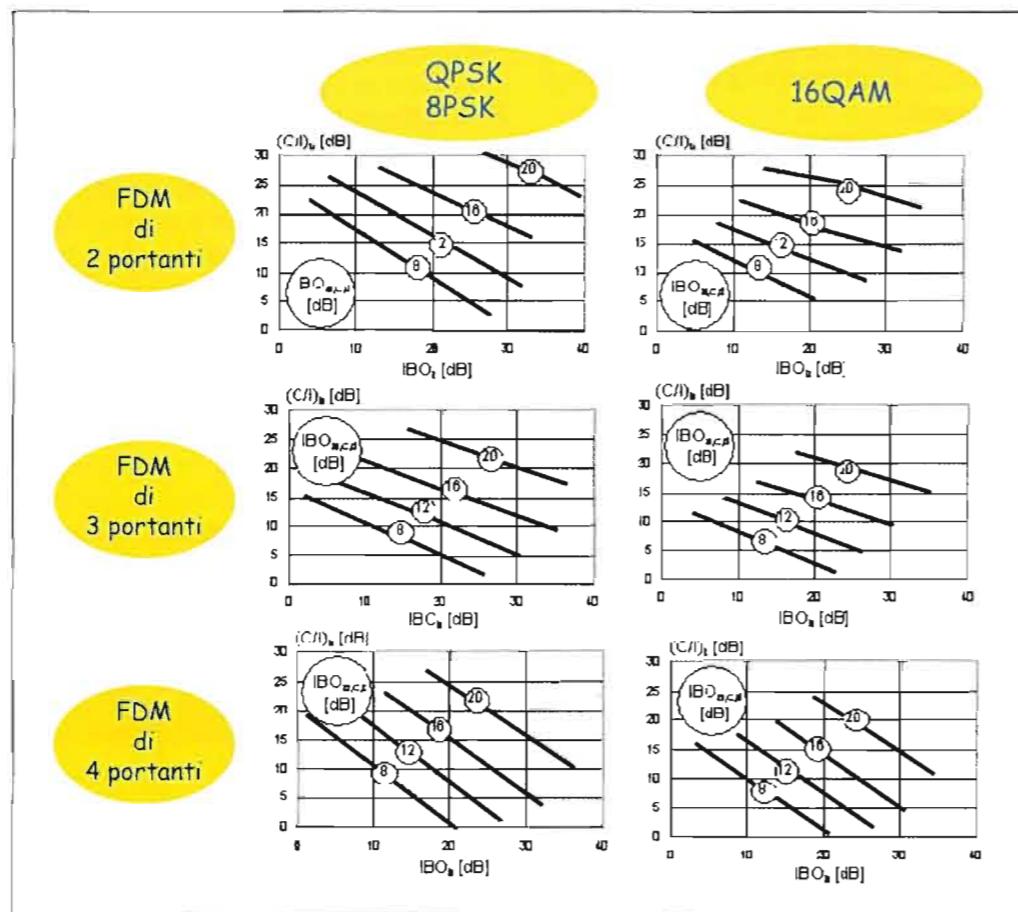



Fig. A.7 - Perdita sul margine di rumore Δ_{ISI} dovuto all'interferenza intersimbolica sul satellite in funzione del punto di lavoro.

richiesto dallo schema di modulazione per ottenere un BER di $2 \cdot 10^{-4}$. La continuità e la qualità del servizio è garantita quando C/(N+I)(disponibile)>C/(N+I)(richiesto)
La procedura di calcolo nel dettaglio è riassunta in Tabella A.1.

Tabella A1
Metodo di analisi semplificato

Passo	Cosa valutare:	Formule, Costanti & Figure da usare
	Valutazione del C/(N+I) richiesto nella banda di rumore B_{RX}	
1	E_b/N_0 richiesto sul canale AWGN per BER=$2 \cdot 10^{-4}$	Dalla Tabella 1 (anello IF) + 1 dB di margine per tenere conto di possibili imprecisioni del metodo semplificato
2	IBO_{tot}	Somma delle potenze in ingresso al TWTA, normalizzate rispetto al punto di saturazione
3	perdita di margine di rumore dovuta all'ISI sul TWTA funzionante ad IBO_{tot}	Dalla figura A.7
4	E_b/N_0 richiesto dal satellite ad IBO_{tot}	Da 1 e 3
5	C/(N+I) richiesto dal satellite nella banda B_{RX}	C/(N+I) (richiesto)= E_b/N_0 +10 Log(R_u/B_{RX})
	Valutazione del C/(N+I) disponibile nella banda di rumore B_{RX}	
6	OBO_b verso IBO_b, $IBO_{a,c,d}$	dalla figura A.4
7	C/N_u e C/N_d disponibili in B_{RX}, dati IBO_b e OBO_b	$E_b/N_{0,u} = EIRP_u - A_u - L_u - PL_u - AL_u + G/T_s - k - R_u$ $E_b/N_{0,d} = EIRP_{sat} - OBO_b - A_d - L_d - PL_d - AL_d + G/T_{RX} - k - R_u$ $C/N_u = Eb/N_{0,u} + 10 \text{ Log}(R_u/B_{RX})$ $C/N_d = Eb/N_{0,d} + 10 \text{ Log}(R_u/B_{RX})$ dove: k = costante di Boltzman A = attenuazione da pioggia L = attenuazione in spazio libero PL = perdite di puntamento AL = attenuazione atmosferica Nota: il pedice "u" si riferisce all'up-link, "d" al down-link, "s" al satellite
8	$C/I_d(b)$ (intermodulazione) in B_{RX} a $IBO_{a,b,c}$	Dalla figura A.6
9	$C/(N_u+N_d+I_u+I_d)$ disponibile	Da 7 e 8
	La qualità del servizio è garantita se C/(N+I) (disponibile) > C/(N+I) (richiesto)	

Catalogo Multimediale: l'esperienza RAI

R. Del Pero, G. Dimino, M. Stroppiana*

*ing. Roberto Del Pero, ing. Giorgio Dimino e dr. Mario Stroppiana Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Torino

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 22 febbraio 2000
L'articolo è stato pubblicato sulla rivista tecnica dell'UER (Unione Europea di Radiodiffusione) - N. 280 - 1999 ed è disponibile nelle versioni inglese e francese sul sito www.ebu.ch

All'inizio del 1997, la RAI avviò un progetto interno con lo scopo di digitalizzare e ridocumentare tutti i materiali audiovisivi prodotti e di proprietà RAI. Il progetto è stato suddiviso in diversi sottoprogetti per lo sviluppo del Catalogo Multimediale e delle librerie Radio e Video, ecc. Dopo una breve descrizione dell'architettura di sistema, l'articolo descrive in dettaglio il Catalogo Multimediale e indica e motiva le soluzioni tecniche adottate.

MULTIMEDIA CATALOGUE: THE RAI EXPERIENCE - At the beginning of 1997, RAI launched an internal project with the goal of digitising and re-documenting all the audiovisual materials produced and owned by RAI. The project has been subdivided in several sub-projects to develop the Multimedia Catalogue, the Radio and Video libraries, etc. After a brief description of the system architecture, the article describes in details the Multimedia Catalogue and indicates and motivates the adopted technical solutions.

1. Introduzione

Gli archivi televisivi e radiofonici della RAI contengono diverse centinaia di migliaia di ore di programmi registrate su vari tipi di supporto, per lo più a nastro e molti dei quali ormai obsoleti. L'archivio aumenta annualmente di circa 60.000 nuovi supporti televisivi e circa 40.000 supporti radiofonici.
Con tale massa di dati, un'organizzazione tradizionale degli archivi non consente uno sfruttamento efficiente del materiale nell'ambiente di produzione dove i tempi di ritrovamento e consegna del materiale possono essere critici e, comunque, non compatibili con la gestione manuale dei supporti.
Nel 1994 la RAI iniziò il lavoro di riversamento dei vecchi supporti di materiale audiovisivo a rischio di danneggiamento più immediato. Con l'occasione si fece un'operazione completa di riclassificazione del materiale. Più tardi, all'inizio del 1997, si avviò un progetto interdipartimentale per la digitalizzazione e ridocumentazione di tutto il materiale prodotto e posseduto dalla RAI. Il progetto fu posto sotto la responsabilità del direttore della Direzione Teche e Servizi Tematici/Educativi della RAI e fu suddiviso in vari sottoprogetti relativi allo sviluppo di un Catalogo Multimediale e delle librerie (archivi) di materiale televisivo e radiofonico, sia in formato non compresso che con compressione MPEG.
L'accesso all'archivio attuale è suddiviso in tante fasi, di cui molte manuali. La durata complessiva della procedura, dalla consultazione del catalogo al ritrovamento e consegna del materiale può richiedere anche alcuni giorni.
L'obiettivo del nuovo sistema è quello di ridurre drasticamente il tempo complessivo e rendere ritrovabile e visibile tutto il materiale d'archivio. Questo viene ottenuto per mezzo di un sistema efficiente ed efficace di documentazione multimediale e mediante una gestione automatizzata delle librerie.
Tale sistema è reso disponibile all'interno della RAI a programmisti, registi, giornalisti, montatori, ed in generale a tutto il personale coinvolto nel processo di produzione.
Il ruolo del nuovo catalogo multimediale, è quello di consentire, nell'enorme massa di materiale archiviato, la ricerca e l'individuazione del materiale desiderato con la precisione dell'inquadratura in modo tale da non aver più bisogno, nella maggior parte dei casi, di visionare il materiale stesso. A tal fine il catalogo non contiene solo informazioni testuali, ma anche immagini fisse relative al programma televisivo e l'audio associato. Inoltre, il catalogo consente d'indirizzare non solo l'intero programma, ma anche ogni sua parte o segmento.

La descrizione del Catalogo Multimediale farà quasi sempre riferimento al materiale televisivo in quanto rappresenta il caso più generale, applicabile con piccole variazioni anche al materiale radiofonico, fotografico e cartaceo.

2. Descrizione generale dell'architettura del nuovo archivio

Sotto l'aspetto funzionale, l'archivio è suddiviso in tre sottosistemi: il catalogo, le librerie video e le librerie audio, come indicato in figura 1.

Il catalogo raccoglie la documentazione del materiale televisivo e radiofonico, oltreché cartaceo e fotografico, e tale documentazione è formata da testo ed oggetti multimediali, come l'audio e le immagini rappresentative. Le funzioni collegate al catalogo multimediale sono quelle di ricerca, navigazione e pre-visione/pre-ascolto della documentazione relativa a programmi e suoi segmenti. Il termine segmento indica una parte temporale del programma con un completo significato semantico.

Le librerie conservano le copie fisiche, su nastro, del materiale televisivo e radiofonico ed il loro compito è quello della conservazione e gestione del materiale.

La documentazione inclusa nel catalogo deve essere perfettamente allineata con il contenuto delle librerie in quanto deve essere possibile, dal catalogo, indirizzare ogni segmento dei programmi contenuti nelle librerie. Tale allineamento è facilmente ottenibile nel caso in cui il catalogo multimediale venga alimentato con i programmi già memorizzati nelle librerie, in quanto gli identificativi del programma ed i suoi riferimenti temporali, Time Code, sono ben definiti nel momento stesso dell'acquisizione sul catalogo. Invece, nel caso in cui catalogo multimediale e librerie siano alimentati entrambi dalla messa in onda o con videoregistratori, tramite catene di acquisizione indipendenti, l'allineamento tra catalogo e librerie risulta più delicato e quindi deve essere esaminato attentamente. Pur tuttavia, quest'ultimo caso consente una maggiore libertà nell'organizzazione del lavoro d'archivio in quanto non richiede uno stretto accoppiamento nella gestione dei due sottosistemi.

A differenza del catalogo multimediale, accessibile da chiunque sia munito di un PC con interfaccia web ed accesso alla rete aziendale, le librerie sono accessibili solo ad un numero limitato di utenti selezionati, per ragioni di diritti di utilizzo e per evitare sovraccarichi della rete. Il materiale televisivo e radiofonico selezionato può essere consegnato al richiedente in formati diversi dipendenti dal sistema di distribuzione disponibile: nella forma di file di calcolatore (usato principalmente con le librerie radiofoniche), nella forma di segnale video (principale modo di distribuzione del materiale memorizzato nella Teca Veloce, contenente materiale video compresso in MPEG-2) o registrato su nastri video (distribuzione del materiale video non compresso residente nella teca master).

Fig. 1 - Diagramma funzionale a blocchi.

3. Strategie per il popolamento dell'archivio

La strategia seguita per popolare di materiale televisivo il nuovo sistema è duplice: digitalizzazione e documentazione di tutti i programmi trasmessi quotidianamente dalle tre reti RAI e digitalizzazione e ridocumentazione del materiale d'archivio, iniziando da quello registrato su nastri molto vecchi e con tecnologia ormai obsoleta e quindi a rischio di deperimento. La digitalizzazione e documentazione del materiale trasmesso quotidianamente è fatta nel momento stesso della messa in onda. Il materiale oltre ad essere registrato su cassette da mettere nell'archivio master, viene anche compresso in MPEG-2 per l'inserimento nella Teca Veloce ed inoltre vengono estratte le informazioni multimediali che confluiranno nel Catalogo. Il vantaggio di questa procedura è dato dal fatto che non viene movimentato materiale aggiuntivo dalla Teca Master e non devono essere copiati ed inviati nastri ai documentatori, operanti presso ditte esterne alla RAI, in quanto esse registrano autonomamente su VHS le trasmissioni che devono documentare. La connessione tra le varie versioni di materiale, copia per la Teca Master, copia MPEG-2 per la Teca Veloce, oggetti audiovisivi per il catalogo multimediale, ecc., è dato dall'orario di messa in onda che è lo stesso per tutte le stazioni di acquisizione.

Il riversamento del materiale da vecchi a nuovi supporti e la sua ridocumentazione è fatto in modo selettivo secondo criteri d'urgenza, ossia è trasferito per primo il materiale a maggior rischio di danneggiamenti. Altri criteri, ad esempio riversare e ridocumentare prima il materiale di maggior interesse, possono comunque essere adottati via via che tale operazione procede.

4. Le librerie video

L'informatica fornisce un modo versatile e duraturo nel tempo di memorizzazione e gestione del materiale audiovisivo in forma di file. In tale modo si ottiene un'indipendenza dal formato di registrazione difficilmente ottenibile con apparati dedicati audio e video. Sfortunatamente la memorizzazione, in formato non compresso, di tutto il materiale televisivo della RAI richiederebbe parecchie decine di petabyte (10^{15} Byte) che risulta una quantità enorme di memoria di massa, non disponibile con i sistemi attuali. La soluzione adottata è quindi stata quella di avere un archivio di materiale non compresso in formato video, chiamato *Teca Master*, duplicato in una libreria a bassa qualità, basata su tecnologia informatica, chiamata *Teca Veloce* e contenente materiale video compresso in

MPEG-2 che può essere usato per visioni, disaster recovery, produzioni che non necessitano di materiale in versione altissima qualità, ecc.
La teca master, gestita attualmente in modo semiautomatico, contiene il segnale video analogico e digitale memorizzato su supporti video convenzionali. I supporti sono immagazzinati su pallet nelle locazioni indicate dal computer di gestione. Il movimento dei pallet avviene mediante sistemi robotizzati.
Al fine di soddisfare nel modo migliore i requisiti di costo e prestazioni, il materiale memorizzato nella Teca Veloce è organizzato in file e memorizzato su due livelli di memoria. Il primo livello è costituito da hard disk mentre il secondo livello è costituito da librerie robotizzate di nastri. Un processo di caching gestisce il trasferimento del materiale tra i due livelli di memorie. A causa dell'enorme quantità di materiale, l'uso della sola memoria di hard disk richiederebbe un costo enorme, mentre una memoria di soli nastri aumenterebbe enormemente i tempi d'accesso al materiale stesso. L'utilizzo di due gerarchie di memorie soddisfa invece entrambe le esigenze indicate precedentemente. Quando il materiale viene richiesto, si ha un trasferimento dalla memoria a nastri a quella a dischi solo se il materiale non è già residente su quest'ultima in quanto oggetto di una richiesta precedente. Tale materiale viene rimosso dalla memoria a dischi quando non è più utilizzato da un certo tempo ed inoltre si richiede capacità di memoria a dischi per il trasferimento del materiale necessario a soddisfare nuove richieste.

5. L'archivio audio

L'applicazione di tecnologie informatiche ha favorito lo sviluppo di una Libreria Master Radiofonica, chiamata Audioteca, che memorizza, in formato digitale e ad altissima qualità, tutti i programmi radiofonici ed i dischi.
Il sistema è formato principalmente di tre sottosistemi collegati tra loro tramite reti ad alta velocità.
Il sottosistema **"Trascrizioni"**, già terminato e funzionante, è adibito alla digitalizzazione dell'attuale materiale archiviato (principalmente nastri da 1/4" e dischi). Il segnale audio stereofonico è convertito in digitale lineare, PCM, con una frequenza di campionamento di 48 kHz e 24 bit per campione. Il sistema ha caratteristiche tali da consentire un taglio drastico dei costi di digitalizzazione, ossia:

- Controllo automatico di alcune caratteristiche del suono digitalizzato (silenzi, saturazione, spettro anomalo). Questi parametri che potrebbero evidenziare errori e degradamenti, sono proposti all'operatore per l'accettazione o non accettazione dell'operazione;
- Controllo automatico su lettori e registratori (nastri, registrazioni, etc.);
- Verifica sistematica della qualità da parte dell'operatore sui punti principali di ogni documento, inclusi i punti critici evidenziati dal computer;
- Controllo statistico del documento completo.

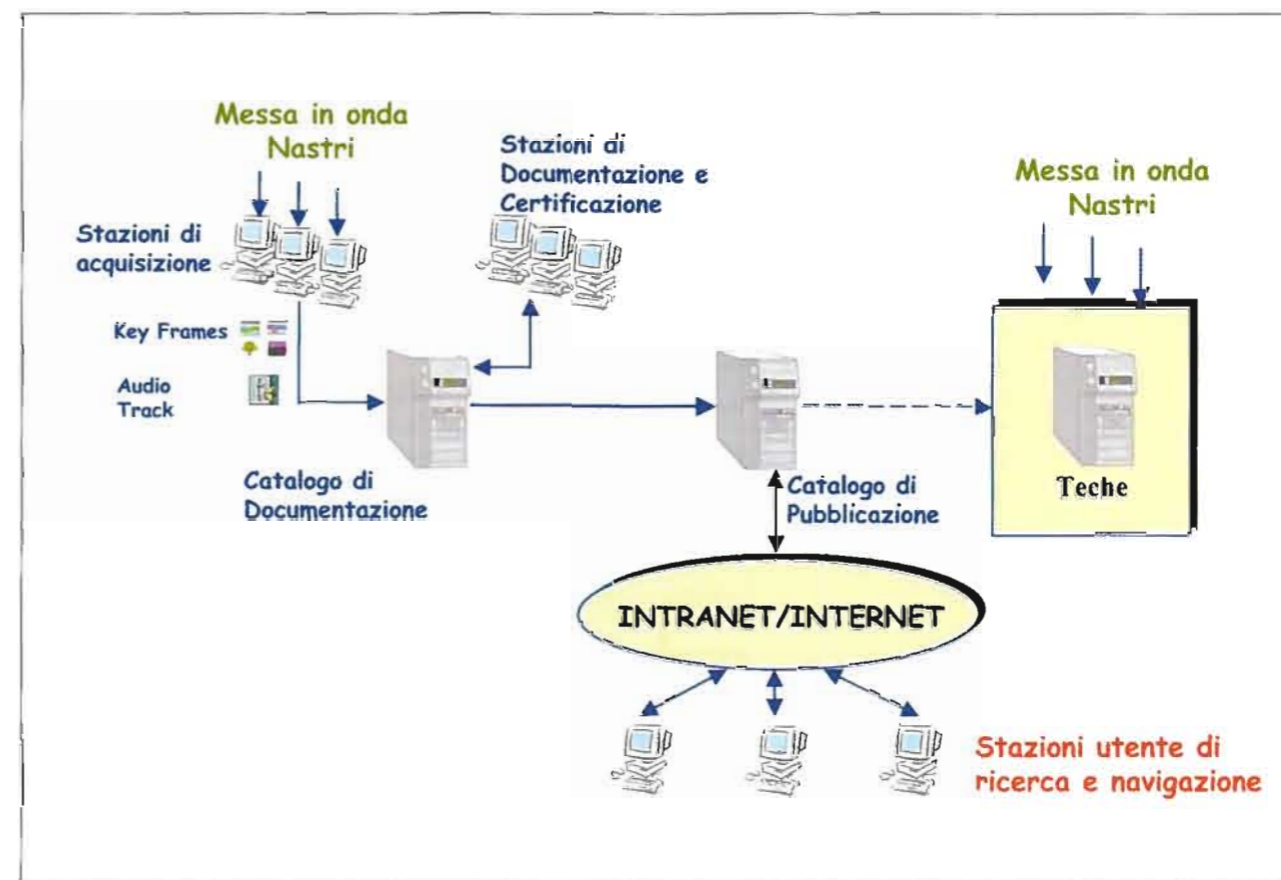
Il sottosistema Grande Archivio del Suono (GAdS) è il responsabile della libreria master audio per la conservazione e la manutenzione del materiale digitalizzato; si basa su di un archivio robotizzato (archivio nastri) con una capacità di 350 Tbyte in formato DLT. I file audio sono formattati secondo lo standard AES/EBU BWF (EBU Tech. 3285).
Le isole di Produzione sono costituite da raggruppamenti (cluster) di stazioni di lavoro specifiche per ogni tipo di produzione (notiziari, sedi regionali, programmi d'intrattenimento, ecc.). Le isole di produzione sono collegate tra loro e con il Grande Archivio del Suono.

Da queste stazioni di lavoro sarà possibile controllare il processo di produzione con elevati standard di qualità, senza ausilio di personale e senza movimento di supporti.

6. Catalogo Multimediale

6.1. Architettura di base

Il catalogo multimediale è progettato per fornire due distinti tipi di servizi: il primo servizio è rivolto ai documentatori ed è costituito da un sistema di memorizzazione degli oggetti multimediali ed informazioni associate, raccolte e generate nelle varie fasi del processo documentativo; il secondo tipo di servizio fornisce agli utenti la visibilità e ricercabilità del prodotto finale, documentazione multimediale dei programmi, e rende disponibili le funzioni di ricerca, navigazione e visione della documentazione nonché gli identificatori e gli indirizzi dei programmi immagazzinati negli archivi televisivi e radiofonici.
Dovendo fornire due servizi con caratteristiche differenti, si è scelto un'architettura basata su due sottosistemi uniti tra loro, come indicato in figura 2.
Il primo sottosistema, il Catalogo di Documentazione acquisisce gli oggetti multimediali e supporta le fasi di documentazione e di certificazione; il secondo chiamato Catalogo di Pubblicazione riceve i programmi documentati e certificati e fornisce all'utente i servizi di ricerca, navigazione, previsione ed il collegamento con le librerie e gli archivi in modo tale da rendere possibile la richiesta automatica e la consegna del materiale individuato.

Fig. 2 - Architettura di base del Catalogo Multimediale.

6.1.1. Catalogo di Documentazione

Le funzioni relative al Catalogo di Documentazione sono indicate in figura 3 e consistono in:
- Acquisizione degli oggetti multimediali (audio, key-frames dette anche immagini rappresentative dei cambi inquadratura, riferimenti temporali);
- Raggruppamento degli oggetti multimediali in programmi;
- Indicizzazione e documentazione dei programmi;
- Certificazione dei programmi;
- Trasferimento dei programmi certificati sul Catalogo di Pubblicazione.

a) Acquisizione di oggetti multimediali
L'acquisizione degli oggetti multimediali, audio ed immagini rappresentative di ogni cambio inquadratura, è realizzata mediante un'apposita workstation a due processori che riceve in ingresso un segnale video PAL ed un segnale di riferimento temporale, segnale orario e/o time code di videoregistratori, ed esegue, in tempo reale, le seguenti attività:
- digitalizzazione e compressione dell'audio;
- individuazione dei cambi di inquadratura;
- estrazione dell'immagine rappresentativa (key-frames) di ogni inquadratura;
- indicazione del tempo d'inizio e della durata di ogni inquadratura.

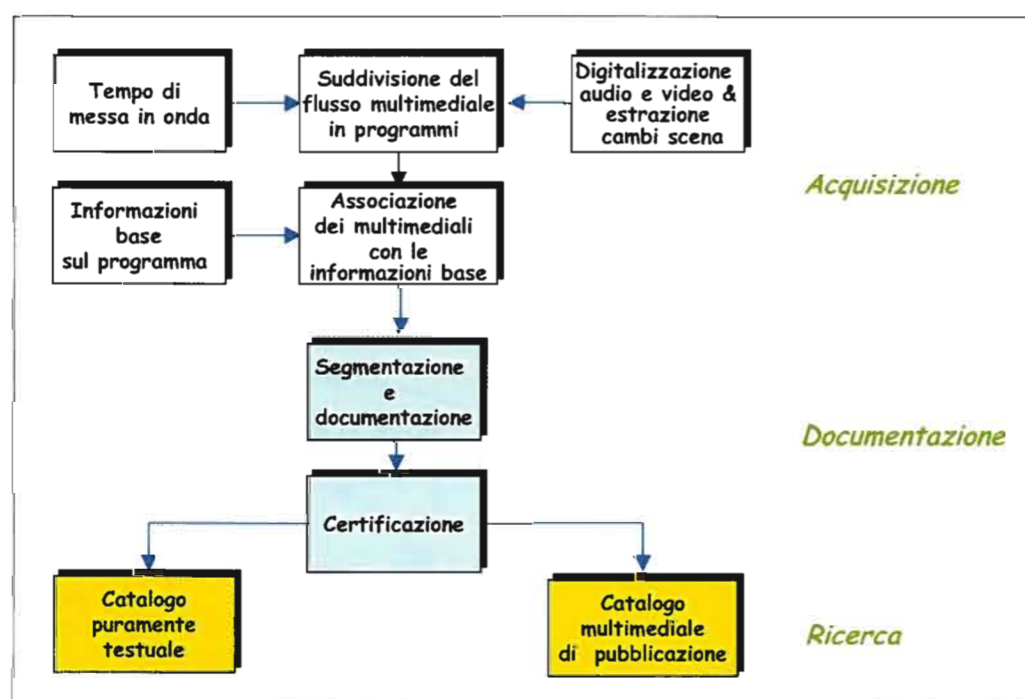
Ogni stazione di acquisizione ha al suo ingresso il segnale di messa in onda relativo ad un canale di trasmissione, senza alcuna distinzione tra i singoli programmi trasmessi dalla rete. Gli oggetti multimediali acquisiti non possono quindi essere associati, in questa fase, ad alcun programma e vengono perciò individuati mediante il riferimento temporale della loro messa in onda. Risulta quindi necessario una successiva elaborazione, eseguita dal calcolatore che fornisce i servizi di documentazione, per spezzare il flusso continuo di immagini ed audio e raggrupparli in programmi.

Fig. 3 - Diagramma a blocchi funzionali del Catalogo Multimediale.

b) Suddivisione di oggetti multimediali in programmi
Nel catalogo di documentazione il flusso continuo di oggetti multimediali è elaborato in modo da raggruppare i dati in programmi e caricarli sul database. Al momento, quest'operazione è eseguita manualmente ed è basata sulle informazioni orarie di inizio e fine dei programmi trasmessi, reperite automaticamente da altri database aziendali. La precisione delle informazioni, sufficiente per operazioni amministrative, non è adeguata per una segmentazione completamente automatica dei programmi, perciò è necessario l'intervento di un operatore per individuare in modo preciso i punti di inizio e fine programma. Questa fase è semplificata nella digitalizzazione del materiale d'archivio poiché esiste, molto spesso, una corrispondenza tra nastri e programmi.
Mentre viene eseguita tale operazione, è generata anche un'entità programma nel database, legando le informazioni multimediali con le informazioni base di classificazione come il nome del programma, i "credits", i codici di identificazione del programma ed i nastri corrispondenti nella libreria master.

c) Indicizzazione, Documentazione, Certificazione
La documentazione dei programmi è effettuata da ditte esterne con contratto d'appalto. Si è individuata un'architettura generale che include isole indipendenti di documentazione collegate al Catalogo di Documentazione mediante apposite reti di tipo dedicato.
In questo modo, gli oggetti multimediali sono trasferiti dal Catalogo di Documentazione al server delle ditte di documentazione collegate a loro volta, mediante rete locale, alle stazioni dei documentatori. La documentazione prodotta rientra nel Catalogo di Documentazione e si aggiunge a quella già esistente completando, in tal modo, la documentazione del programma corrispondente. Prima di poter essere trasferita al Catalogo di Pubblicazione, la documentazione deve essere certificata dalla Direzione Audiovideoteche.

d) Trasferimento di programmi su Catalogo di Pubblicazione
I programmi documentati e certificati sono trasferiti sul Catalogo di Pubblicazione per essere resi disponibili agli utenti in ricerca, navigazione e funzioni di visione.

6.1.2. Catalogo di Pubblicazione
Il Catalogo Multimediale deve essere in grado di gestire tutta la documentazione relativa alla TV, Radio, Documenti cartacei e Foto, immagazzinate nei vari archivi della RAI. La RAI possiede una gran quantità di materiale che aumenta inoltre molto rapidamente di anno in anno. Il Catalogo Multimediale deve includere la documentazione di una grande quantità di materiale e quindi, anche la dimensione del catalogo diventerà, nel tempo, molto grande. Un catalogo costituito da un unico database avrebbe un grandissimo numero di records con conseguente riduzione della prestazione. È stato quindi deciso di suddividere la documentazione su vari database in base al tipo di materiale, mantenendo la capacità di ricerca in parallelo in ogni sezione. I vantaggi previsti sono una forte riduzione della dimensione di ciascun database ed una corrispondente riduzione del numero di utenti *simultanei* con un conseguente aumento delle prestazioni ed una maggiore flessibilità e scalabilità del sistema. Il prezzo da pagare consiste in un maggiore sforzo di gestione necessario ad amministrare un database distribuito rispetto ad uno centralizzato.
Le stazioni utente fornite di interfacce Web possono essere collegate al Catalogo mediante reti locali o geografiche.
Le informazioni multimediali sono state codificate in modo da fornire una qualità di servizio sufficiente con un livello minimo di risorse di rete.

6.1.3. Tecnologia adottata

La documentazione è strutturata secondo un modello dati ad oggetti.
Questa struttura è stata realizzata su un database Object-Relational (ORDB) che integra il concetto di entità-relazione con caratteristiche tipiche delle tecnologie ad oggetti. È così possibile accedere a tabelle di dati mediante tradizionali linguaggi SQL, che consentono un facile ed efficiente progetto e sviluppo delle funzioni di ricerca ed inoltre utilizzare caratteristiche tipiche del mondo ad oggetti, come tipi di dati definiti dall'utente ed ereditarietà di funzioni e classi. Quest'approccio ha la flessibilità necessaria per affrontare futuri ampliamenti del sistema, per poter soddisfare nuove richieste da parte dell'utente e per utilizzare nuove tecnologie.
È stato accertato che la tecnologia ORDB è più adatta di quella tradizionale per la realizzazione delle funzionalità di navigazione tra oggetti, programmi, segmenti, ecc., che costituiscono la documentazione dei programmi.

6.2. Modello dei dati

Il materiale è logicamente strutturato in modo conforme ad un modello di dati che considera il programma facente parte di una serie che a sua volta appartiene ad un prodotto. Il programma è, a sua volta, suddivisibile in segmenti composti da inquadrature.
I vari livelli sono definiti da:

- Prodotto: raccolta di tutti i programmi/puntate che si riferiscono ad un programma televisivo completo "*titolo*". Può essere anche definito come: "tutti i programmi/puntate aventi lo stesso titolo";
- Serie: un insieme di programmi/puntate relativi allo stesso prodotto;
- Programma o Puntata: un oggetto avente un'unica base di tempo, dove l'oggetto è un'entità nel database multimediale. Può essere parte di una o più raccolte, e può essere suddiviso in uno o più segmenti;
- Segmento: parte del programma con significato semantico completo;
- Inquadratura: elemento costitutivo del segmento individuato in base a particolari criteri tecnici come cambio scena, dissolvenza, zoom, ecc., ed estratto, di solito, usando strumenti automatici di segmentazione.

Fig. 4 - Modello dati dei programmi TV.

La struttura indicata è molto generale e permette la documentazione ricorsiva ed il riutilizzo del materiale. Un caso tipico di struttura è indicato in figura 4, in cui segmenti di programma includono, a loro volta, altri segmenti di programma.

Ogni parte di programma è documentata con immagini fisse, audio compresso, campi formattati e testi liberi. Le immagini fisse sono costituite da key-frame estratti dai programmi TV, ridotti a 1/4, e compressi in JPEG. L'audio è costituito dalla colonna sonora, associata al programma TV, codificata in MPEG-2 layer3 con compressione a 8 kbps. I campi formattati ed il testo libero includono sia l'informazione di classificazione, che è scaricata automaticamente da altri database aziendali e costituiscono una

documentazione minima generata dalla fase di produzione, sia le annotazioni inserite dai documentatori in fase di documentazione ed associabili ai primi quattro livelli della struttura, ossia al prodotto, alla serie, al programma ed al segmento.

6.3. Funzionalità utente

6.3.1. Ricerca

L'interfaccia di ricerca deve essere adattata ad almeno due distinte classi di utilizzatori: un utente generico che accede al Catalogo senza informazioni specifiche, principalmente per scopi di documentazione, e l'utente esperto capace di sfruttare tutte le caratteristiche del sistema.
L'utente della prima classe ha bisogno di un'interfaccia semplice ed amichevole che consenta la ricerca verso tutti i tipi di materiale.
Gli utenti della seconda classe sono invece, nella maggioranza dei casi, dei professionisti alla ricerca di materiale da inserire in nuove produzioni ed hanno la necessità di trovare il materiale desiderato nel più breve tempo possibile.
Poiché la documentazione di tipologie differenti di materiale, come programmi TV, telegiornali, programmi radiofonici, ecc. contiene campi di documentazione specifici, un'interrogazione su più tipologie, od addirittura su tutto il catalogo, deve basarsi sul sottoinsieme dei campi di documentazione comuni alle tipologie ricercate.

- Sulla base delle precedenti considerazioni si sono individuati tre livelli di ricerca:
- Sulla documentazione di tutto il materiale, TV più Radio più Documenti più Foto;
- Sulla documentazione di ogni singola tipologia di materiale, solo TV, solo Radio, solo Documenti, solo Foto;
- Sulla documentazione di un genere specifico, es. Commedie TV, Sport TV, Documenti, Telegiornale, Notiziari radiofonici.

La ricerca al terzo livello può essere fatta su tutti i campi documentativi, ossia sui dati formattati e sul testo libero, mentre la ricerca ai primi due livelli è rivolta solo ai campi di testo libero ed al sottoinsieme di dati formattati, comune a tutti i materiali considerati a quel livello. Chiaramente tale sottoinsieme è più limitato al primo che al secondo livello.
La ricerca può essere fatta combinando, con operatori logici, più richieste elementari con modalità di ricerca su parole esatte, parole simili o sinonimi.
Il risultato dell'interrogazione consiste nell'indicazione del numero d'occorrenze trovate e nella lista dei rispettivi titoli da cui è possibile, mediante un click con il mouse, entrare in navigazione sul programma selezionato.

6.3.2. Navigazione

Il risultato dell'interrogazione, che può essere qualsiasi tipo di oggetto documentato, cioè prodotto, serie, puntata/programma, segmento o inquadratura, costituisce un punto d'ingresso ad un grafo di oggetti connessi attraverso un collegamento di tipo gerarchico o temporale od attraverso una qualsiasi associazione definita dal documentatore, come, ad esempio, una serie di notizie sullo stesso argomento o un programma TV ed il suo testo. Un esempio di collegamento di tipo gerarchico è quello esistente tra un programma ed i suoi segmenti, mentre un esempio di collegamento temporale è quello esistente tra segmenti successivi appartenenti allo stesso programma. In tale modo l'utente può navigare da un oggetto ad un altro collegato mediante un albero di relazioni.
L'interfaccia di navigazione, relativa alla presentazione della puntata/programma, è illustrata in figura 5. Alla sinistra dello schermo è riportata la lista dei segmenti contenuti nel programma, le immagini più rappresentative di ogni segmento e selezio-

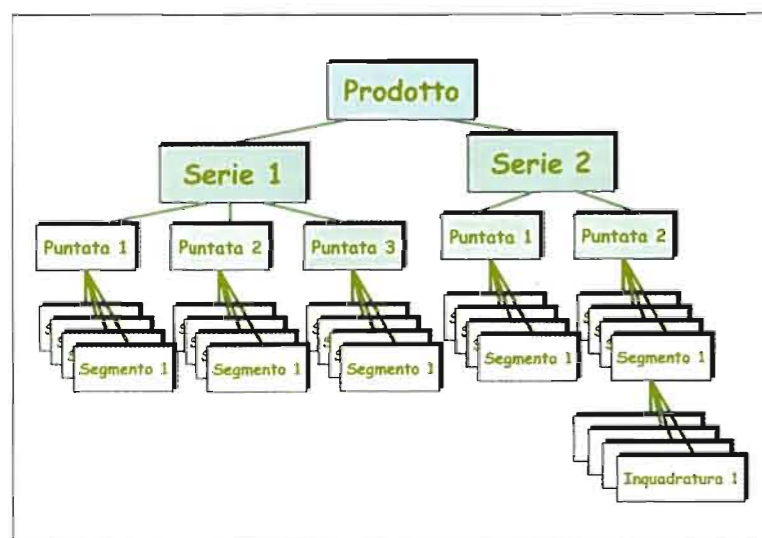



Fig. 5 - Interfaccia di navigazione a livello di puntata/programma.

nate dal documentatore, ed il titolo del segmento.
All'inizio della pagina sono invece riportati i titoli del prodotto, della serie, della puntata, la durata della puntata stessa e le date delle messe in onda.
Selezionando, tramite il mouse, un bottone al centro dello schermo si visualizza l'area di documentazione selezionata, ossia la lista degli argomenti, i credits, i temi, le informazioni tecniche, l'indice dei contenuti, ecc. La figura 5 illustra l'indice dei segmenti del programma raggruppato per contenuti.
È quindi possibile selezionare un determinato segmento della puntata, entrare in navigazione sul segmento stesso e visualizzarne la pagina contenente le relative informazioni, come indicato in figura 6.
La struttura della pagina e le informazioni di base relative al prodotto, alla serie, ed alla puntata sono le stesse della pagina di presentazione della puntata.

Le immagini rappresentative (key-frame) a sinistra dell'immagine si riferiscono ora alle inquadrature maggiormente significative a giudizio del documentatore ed hanno lo scopo di limitare il numero di immagini visualizzate sulla stazione utente e, di conseguenza, ridurre il tempo di trasferimento.
In ogni caso, la lista completa delle inquadrature è disponibile e viene trasferita alla stazione utente dietro richiesta specifica dell'utente stesso.
Le aree di documentazione associate al segmento contengono le informazioni caratteristiche a quel livello, come la descrizione del segmento, la descrizione delle immagini, la lista dei partecipanti, il luogo della ripresa, ecc.
In alto a destra dell'interfaccia relativa sia alla puntata che al segmento è visibile un semaforo che fornisce le indicazioni relative all'esistenza di vincoli e diritti sull'utilizzo del materiale; la luce verde indica

Fig. 6 - Interfaccia di navigazione a livello di segmento (elemento di scaletta).

l'assenza di vincoli, la luce rossa indica l'impossibilità di utilizzo del materiale e la luce gialla indica che la situazione dei vincoli deve essere chiarita con l'ufficio legale. Di norma il materiale in catalogo è di proprietà della RAI, e utilizzabile all'interno dell'azienda, ma talvolta il permesso d'uso può avere limiti imposti da precisi contratti.
A livello di segmento è disponibile anche una funzione di pre-visione. Per limitare la dimensione del database e l'occupazione della rete, invece di visualizzare il video in movimento si visualizzano le immagini rappresentative (key-frame) sincronizzate con il relativo audio compresso a 8 kbps.

6.3.3 Interfaccia "Palinsesto" per navigare sui programmi non documentati

Il processo completo di documentazione, dall'acquisizione degli oggetti multimediali alla certificazione della documentazione, richiede diversi giorni. D'altra parte, per alcuni generi, come i notiziari giornalistici, gli oggetti multimediali associati alla classificazione ed ai dati di messa in onda del corrispondente programma possono già fornire un elevato grado di informazioni, specialmente in determinati ambienti tipo quello giornalistico. Di conseguenza, si è deciso di caricare il materiale non documentato sul catalogo multimediale già il giorno dopo la messa in onda e renderlo quindi visibile agli utilizzatori senza dover aspettare il compimento del processo di documentazione. A questo materiale si può accedere conoscendone la data di trasmissione e/o il titolo. Le funzioni disponibili sono quelle associate alle informazioni già presenti e quindi la visualizzazione dei key-frame, la pre-visione e i dati di trasmissione e di classificazione.
L'interfaccia per navigare su tali programmi non documentati è chiamata "Interfac-

cia di Palinsesto" ed è illustrata in figura 7a. Tutti i programmi trasmessi in un determinato giorno sono visualizzati sulla stazione utente mediante il titolo e l'ora di inizio e fine del programma. Le icone visibili sulla destra della lista di programmi indicano, rispettivamente, la presenza degli oggetti multimediali (key-frame e audio), l'esistenza delle informazioni di classificazione, e la disponibilità della documentazione. Con un click del mouse su un'icona, si ottengono le informazioni relative all'icona selezionata; in figura 7b è indicata la presentazione delle informazioni corrispondenti agli oggetti multimediali.
Nella metà superiore dell'interfaccia è riportato il titolo del programma e alcune immagini in sequenza temporale. Muovendo il cursore sottostante le immagini è possibile visualizzare tutti i fotogrammi connessi alla parte selezionata del programma. L'inquadratura selezionata è copiata nella cornice situata nella parte inferiore della figura. I bottoni sottostanti la cornice servono per avviare la visione a partire dall'inquadratura selezionata, per fermare la visione stessa e per tornare all'inquadratura di partenza.
L'icona rappresentante un libro aperto indica che il programma è stato documentato. Con un click sul libro appare l'interfaccia di navigazione indicata in figura 5 e quindi è possibile navigare sulla documentazione del programma selezionato e sui documenti ad esso associati.

Fig. 7 - "Palinsesto": elenco dei programmi trasmessi in un determinato giorno (a) e interfaccia per la rappresentazione delle immagini rappresentative (b).

7. Collegamento tra il catalogo multimediale e le librerie

Il Catalogo Multimediale contiene l'identificativo dei files e/o dei supporti magnetici su cui è registrato il contenuto audiovisivo ed inoltre i time code d'inizio e fine e la durata di ogni inquadratura. In tal modo, è possibile selezionare, dal lato catalogo, e sulla base della documentazione, una parte del programma ed associarle l'identificatore del file o del supporto ed i time code d'inizio e fine della parte selezionata. Se la richiesta è fatta ad un archivio robotizzato gestito da

un computer, i parametri per il reperimento del materiale sono trasferiti automaticamente al computer (server) che localizza il file, estrae la parte di programma richiesta e la invia all'utente mediante una rete ad alta capacità. Se il contenuto audiovisivo è invece richiesto ad un archivio di tipo tradizionale, viene compilato, in modo automatico, un modulo di richiesta che, sempre automaticamente, è trasferito sul tavolo del responsabile dell'archivio che provvederà al reperimento ed alla consegna del materiale.

8. Conclusioni

Nell'articolo si sono indicate le caratteristiche principali e l'architettura del Catalogo Multimediale e dei nuovi strumenti di ricerca del materiale audiovisivo, sviluppati all'interno del progetto RAI sulla riorganizzazione degli archivi. Enfasi particolare è stata data agli aspetti di acquisizione degli oggetti multimediali, immagini rappresentative delle inquadrature, dette anche key-frame, ed audio, alle tecniche di segmentazione e documentazione del materiale, alle possibilità di ricerca e navigazione sulla documentazione ed infine alla necessità di collegamenti tra catalogo e librerie in modo da rendere possibile l'estrazione automatica del materiale richiesto e di conseguenza la possibilità di inglobare efficacemente l'archivio nel mondo della produzione.
Si attendono, quanto prima, sia tecnologie per la documentazione automatica, od almeno di ausilio all'attuale documentazione, in grado di ridurre i costi di documentazione che tecnologie per ricerche basate sulla somiglianza del contenuto, ossia somiglianza d'immagini ed eventualmente anche somiglianza di suoni. Tali tecnologie sono allo studio e vengono sviluppate da parte di enti di ricerca ed industria, che collaborano tra loro all'interno di progetti finanziati dalla comunità europea e del progetto MPEG-7, gruppo misto ISO/IEC di esperti.
Dall'articolo si evidenzia che è possibile una rete di collegamento tra il Catalogo e le Librerie solo se esiste una relazione univoca tra il materiale e la documentazione corrispondente, ossia solo se esiste un identificativo univoco per materiale e programma. Se strumenti come il Catalogo Multimediale saranno inoltre usati per favorire l'interscambio tra società, od il commercio elettronico dei contenuti usando reti mondiali, l'identificativo del contenuto dovrà essere unico nel mondo, quindi sono attualmente allo studio degli organismi internazionali di standardizzazione proposte di standard per un Indentificatore Univoco di Materiale (UMID - Unique Material Identifier) e per un Indentificatore Univoco di Programma (UPID - Unique Program Identifier).

Sistema d'acquisizione dei programmi TV per il Catalogo Multimediale RAI

L. Boch*

*ing. Laurent Boch - Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica - Torino

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 10 marzo 2000

Il Catalogo Multimediale è un elemento cardine nel progetto Teche della RAI, in quanto conterrà le informazioni relative a tutti i programmi prodotti, completate da una rappresentazione multimediale audio e video. I programmi sono acquisiti in modo conciso: il segnale video è analizzato e suddiviso in una sequenza d'inquadrature, per ognuna delle quali è salvata una sola immagine rappresentativa. Per l'audio si registra una copia a bassa qualità, continua nel tempo. Un'efficace funzione di riproduzione è realizzata visualizzando le immagini in sincronia con l'audio relativo. La sequenza d'inquadrature fornisce una base temporale che permette di collegare le informazioni testuali ai segmenti di programma cui si riferiscono. L'acquisizione multimediale è realizzata in tempo reale da apparati in servizio dal 1998, sia sui segnali di messa in onda delle tre reti RAI, 24 ore al giorno, sia presso linee di riversamento di nastri immagazzinati negli archivi. Il sistema realizzato acquisisce video, audio e riferimenti temporali e comprende un insieme di strumenti d'analisi video, come il rilevamento dei cambi netti e delle dissolvenze rapide. Le immagini rappresentative, nel formato JPEG, l'audio compresso e i dati di sincronizzazione sono inviati ai database del Catalogo Multimediale, senza interrompere il processod'acquisizione.

TV PROGRAMME ACQUISITION SYSTEM FOR THE RAI MULTIMEDIA CATALOGUE - The RAI "TECHE" Project aims to carry out a "Multimedia Catalogue" that will contain all the documentation and the metadata information concerning the huge amount of television and radio programmes produced along the years, providing, in the same time, the links to the programmes master copies. The programmes content is recorded concisely: for video this is achieved through the signal analysis and the scene change detection, saving for each shot a single representative picture. For audio, a time-continuous lower quality copy is recorded and saved. An effective play/preview function is possible with such multimedia elements. The still images are displayed synchronously with the relevant continous audio. The shots' sequence provides also a useful timebase linking the metadata information to the programme segments they refer to. The multimedia recording process is performed in real time by equipments in service since 1998 both on the three RAI networks on air signals, 24 hours per day, and on playback lines of stored tapes from the archive. The implemented system provides audio, video and time reference acquisition and includes a set of video analysis tools, such as hard cut detection, fast dissolve finding out and a color flag setting. Still pictures are saved in JPEG format, the audio is MP3 coded, all time information are recorded into suitable index files. Feeding of the Catalogue data bases and acquisition process are concurrent.

1. Un catalogo multimediale per i programmi TV

Il progetto Teche della RAI porta avanti la realizzazione di un catalogo multimediale, che conterrà le informazioni relative all'immenso numero di programmi televisivi e radiofonici prodotti nel corso degli anni. Il sistema complessivo vede l'integrazione di diversi elementi, di cui il principale è sicuramente la Teca Master, dove si preserva la copia di massima qualità dei programmi. Il Catalogo Multimediale svolge il ruolo di sistema d'accesso, contenitore delle informazioni di documentazione, nello stesso tempo fornisce i collegamenti ai programmi veri e propri. In prospettiva diventerà lo strumento per la gestione dei metadati relativi ai programmi durante tutto il processo produttivo, dall'ideazione alla distribuzione. Vi saranno diverse tipologie di utilizzatori, caratterizzate secondo le proprie funzioni, alcuni lavoreranno specialmente all'interno del sistema Catalogo, altri lo utilizzeranno come portale per il reperimento del materiale audiovisivo.

Il programma rappresenta l'unità di prodotto documentata. In una struttura a livelli gerarchici il programma, o meglio la *puntata*, appartiene generalmente ad una *serie*, che a sua volta fa parte di un'entità più generale che accomuna diverse serie, il *prodotto*. Al fine di una documentazione più analitica, il *programma* è suddiviso in segmenti, detti *Elementi di Scaletta (EdS)*, che hanno un significato logico proprio. L'*EdS* è l'elemento di documentazione elementare e costituirà quindi anche l'unità base di molti processi di ricerca.

Un ruolo importante è rivestito dalle informazioni descrittive associate ai programmi e agli *EdS*. La descrizione puramente testuale rischia di non essere adeguata al prodotto audiovisivo, per cui si è sentita l'esigenza di avere un contributo multimediale, audio e video. Le risorse tecniche attuali non consentono ancora, ad un sistema con un'utenza ramificata e diversificata come il Catalogo Multimediale, di inglobare direttamente i programmi televisivi in modo completo ed alla qualità originale. Gli elementi multimediali presenti nel Catalogo sono quindi rappresentazioni sintetiche, a risoluzione e qualità ridotte, per mantenere limitato l'ingombro dei dati multimediali sia sui sistemi di memorizzazione, sia sulle reti di collegamento.

Si è decisa l'acquisizione del contenuto dei programmi in modo conciso e significativo, così da conservare comunque la parte più rilevante dell'informazione. Per il video questo è ottenuto attraverso l'analisi del segnale e la rilevazione dei cambi inquadratura, di cui sono memorizzate le immagini rappresentative. Il sistema d'acquisizione che svolge queste mansioni è l'elemento base del popolamento del Catalogo cui è interfacciato e che sarà strumento tanto più interessante quanto maggiore sarà la quantità di programmi contenuti.

Fig. 1 - Inquadratura ed immagine rappresentativa.

2. La rappresentazione sintetica dei programmi

Il segnale televisivo che costituisce un programma è formato da una parte video e da una audio. In termini molto sintetici, il video è costituito da una sequenza d'immagini, dette quadri, prodotte alla velocità di 25 al secondo, per cui ogni singolo quadro è visualizzato sugli schermi televisivi in 40 millisecondi. Alle immagini è associato un segnale audio. Il programma è quindi costituito da un segnale logicamente continuo, vale a dire senza interruzioni nel tempo.

La parte video del programma può però essere idealmente suddivisa arbitrariamente in gruppi di quadri successivi di durata qualsiasi. Quando, per un tempo significativo, non si presentano cambiamenti istantanei o rapidi del contenuto dell'immagine, tale gruppo di quadri può essere identificato come un'***inquadratura***. Utilizzando questa definizione, il video di un programma può essere suddiviso senza interruzioni in *inquadrature*, i cui limiti sono stabiliti generalmente con il criterio dei cambi scena.

Le immagini che costituiscono l'inquadratura hanno un contenuto abbastanza omogeneo da permetterne una sintetica descrizione, ma soprattutto è possibile avere una rappresentazione dell'intera inquadratura da parte di una singola immagine, che avrà quindi il compito di fornire una descrizione visiva della scena (vedi figura 1).

In questo contesto, l'***inquadratura*** si definisce come *"un insieme arbitrariamente determinato di quadri consecutivi per cui, generalmente, una singola immagine possa rappresentare sinteticamente l'intero gruppo"*.

Fig. 2 - Sequenza d'immagini rappresentative.

La rappresentazione sintetica di un programma è costituita dalla sequenza delle immagini rappresentative delle *inquadrature* in cui è suddiviso (figura 2).
Da parte dell'utilizzatore, un segmento di programma, per esempio di circa dieci minuti, può essere visualizzato completamente anche in una sola schermata del proprio navigatore, dotata di barra di scorrimento. Infatti, le immagini rappresentative delle *inquadrature*, posizionate l'una accanto all'altra nel formato *thumbnail*, non richiedono uno spazio eccessivo sullo schermo. Il vantaggio per la fruizione è innegabile, con un solo movimento del mouse è possibile passare dall'inizio alla fine del segmento ed in pochi secondi si sono praticamente viste tutte le immagini rappresentative. Nella visualizzazione di programmi particolarmente lunghi vi sono due alternative ugualmente praticabili. La prima è la visualizzazione di uno spezzone per volta, con la possibilità di passare al successivo o al precedente. La seconda è una visualizzazione complessiva a risoluzione temporale inferiore, ad esempio un'*inquadratura* al minuto, dalla quale si può selezionare un punto qualsiasi per visualizzare tutte le *inquadrature* di uno spezzone.
L'ingombro richiesto per la memorizzazione delle immagini dipende essenzialmente dalla risoluzione, dal fattore di qualità imposto allo strumento di compressione, solitamente la codifica JPEG, e dal contenuto dell'immagine stessa. Si possono avere dai 12 ai 18 kbyte per immagini a risoluzione 384x288 pixel, cioè un quarto di quella televisiva, dai 4 agli 8 Kbyte per una versione a risoluzione thumbnail, ad esempio 192×144 pixel.

La parte audio del programma può essere rappresentata in forma sintetica, ricorrendo ad una digitalizzazione del segnale continuo con parametri impostati per una qualità ridotta. L'ingombro dei dati risultante è così limitato, ma un successivo ascolto consente al fruitore del servizio una perfetta comprensione del contenuto, cioè testo dei dialoghi, riconoscimento voci e brani musicali. L'audio è rappresentato in forma continua nel tempo e l'ascolto può avere inizio in qualsiasi punto selezionato. Attualmente si vogliono ottenere velocità di codifica da 8 a 32 kbit/s.

La rappresentazione sintetica del programma consente anche un'efficace forma di riproduzione. Infatti, memorizzando i riferimenti temporali dell'audio e delle *inquadrature* video, è possibile per ogni istante sincronizzare con buona precisione le riproduzioni delle due parti del segnale televisivo. In altre parole, all'ascolto dell'audio si accompagna la visualizzazione dell'immagine rappresentativa dell'*inquadratura* corrispondente, che è mantenuta per il tempo della durata dell'*inquadratura*. Questo tipo di riproduzione non ricostruisce i movimenti, ma dà ugualmente il senso del ritmo dell'azione video, offrendo nello stesso tempo un contributo aggiuntivo al semplice ascolto audio. Lo strumento sarà ancora più apprezzato dal fruitore, se dotato di funzioni di controllo di riproduzione, ad esempio pausa, arresto, posizionamento al punto, eccetera (figura 3).

Fig. 3 - Esempio d'interfaccia di riproduzione sintetica.

La documentazione testuale e tutte le altre informazioni inserite nel Catalogo traggono così dagli elementi multimediali un'utilissima base tempi, che permette la corretta associazione tra i metadati ed i segmenti di programma, cioè gli *EdS*. Infatti ogni immagine è anche un puntatore all'istante preciso in cui è iniziata l'inquadratura corrispondente, questo risulta essere un vantaggioso strumento per chi stesse cercando del materiale da riutilizzare in nuove produzioni.

3. La determinazione dei cambi inquadratura

Come già accennato, i punti d'inizio e fine inquadratura potrebbero essere determinati arbitrariamente, rispettando il vincolo generale di omogeneità del contenuto. Tuttavia appare chiaro che il metodo più efficiente, e che rende più significativa la suddivisione del segnale video, è rilevare i punti di montaggio e le commutazioni di telecamera, quando si presentano variazioni improvvise, in altre parole i cambi scena. Conseguentemente le immagini appartenenti ad un'inquadratura, presentando un contenuto abbastanza omogeneo, variano in modo graduale, mantenendo grossomodo lo stesso sfondo e buona parte degli elementi in primo piano. Il cambio inquadratura è avvertibile dallo spettatore, che lo percepisce come istantaneo anche quando in realtà l'effetto dura alcuni decimi di secondo, in questi casi il momento della variazione è facilmente identificabile con buona precisione.
In verità possono verificarsi in modo graduale delle variazioni anche consistenti del segnale video con un'apprezzabile durata dell'effetto (superiore al mezzo secondo, talvolta di alcuni secondi). Ad esempio una lunga carrellata (*panning*), un avvicinamento/allontanamento (*zoom*), oppure una commutazione tra due segnali effettuata in modo graduale (*dissolvenza incrociata*). In tutti questi casi, pur ammettendo che l'inquadratura non è più la stessa, è difficile identificare in modo univoco l'istante del cambio perché spesso la durata dell'effetto transitorio è tale da non essere trascurata.
Una sommaria classificazione dei cambi inquadratura può essere la seguente:

- **Cambi netti.** La scena cambia da un quadro al successivo;
- **Dissolvenze ed effetti brevi.** La scena cambia in qualche decimo di secondo, l'effetto è appena percettibile.;
- **Dissolvenze ed effetti lunghi.** La scena cambia gradualmente, è possibile che lo spettatore non percepisca il cambio inquadratura.

In realtà esiste tutta una serie di casi particolari (figure 4-5-6-7):

- Cambi netti effettuati soltanto su una parte dell'immagine;
- Difetto improvviso apparso sull'immagine;
- Comparsa improvvisa di titoli e scritte varie;

Fig. 4 - Cambio netto nel contributo proiettato a schermo.

Fig. 5 - Flash luminoso improvviso.

Fig. 6 - Problema tecnico.

Fig. 7 - Un'immagine durante una dissolvenza incrociata.

- Doppio cambio inquadratura con immagine grafica d'intermezzo.

È stata effettuata una statistica su un campione ridotto e si è potuto verificare che circa l'80% dei cambi inquadrature sono netti ed almeno un altro 10% è costituito da effetti speciali e dissolvenze brevi. [1]

Gli eventi rapidi, cambi netti e dissolvenze brevi, sono facilmente rilevabili in modo automatico e con probabilità d'errore molto bassa. Viceversa gli effetti lenti, anche perché più difficilmente definibili, sono più problematici ed una rilevazione automatica può dare luogo ad errori e a risultati discutibili. Negli ultimi tempi sono stati fatti eccellenti progressi in questo campo, ma dovendo il sistema d'acquisizione operare in tempo reale, occorre adottare algoritmi in grado di soddisfare questo vincolo.
Ulteriori requisiti sono stati imposti ai criteri di determinazione delle inquadrature. In particolare è richiesto che comunque un'inquadratura non superi una durata massima, circa venti secondi, al fine di non diminuire la significatività dell'immagine rappresentativa. D'altra parte raffiche di cambi scena, determinate da sigle, videoclip o grafiche particolari, non sono accettabili, per cui è impedita più di una rilevazione in meno di due secondi.

L'immagine rappresentativa è scelta circa in mezzo all'inquadratura. Quando è piuttosto breve, diciamo meno di tre o quattro secondi, questo non ha molta importanza, perché le immagini sono molto simili. Per le inquadrature più lunghe, al contrario, si possono avere sensibili differenze di contenuto tra l'inizio e la fine, specialmente nei panning, negli zoom e laddove c'è movimento. In questi casi, scegliendo come immagine caratteristica quella in mezzo, si ottiene con la massima probabilità un'immagine contenente oggetti e particolari che più a lungo hanno fatto parte dell'inquadratura, cioè maggiormente rappresentativa. Lo scopo della scelta di un'immagine, infatti, non è l'identificazione di un punto preciso nel tempo come l'inizio dell'inquadratura (tale compito è affidato ai dati associati), ma dare l'idea più corretta possibile del contenuto delle immagini.

4. Il popolamento del Catalogo Multimediale

L'acquisizione multimediale è il passo preliminare del processo d'immissione dati nel Catalogo Multimediale. Il contenuto sarà il risultato dell'abbinamento tra informazioni anagrafiche, documentative, descrittive e gli elementi multimediali. Questi devono quindi essere in qualche modo sincronizzati sia alle informazioni testuali associate, sia alle copie della Teca Master in qualità di produzione. Ciò è possibile solo con l'acquisizione di tutti i riferimenti temporali e di supporto necessari, contestualmente all'acquisizione di audio ed immagini rappresentative.

Il sistema d'acquisizione può essere messo in servizio secondo due modalità molto diverse:

- **Presso la messa in onda**.
  In questo caso si richiede un servizio automatico, garantito per 24 ore al giorno. I tempi per il completamento dell'immissione sono stringenti, per cui in tutte le fasi si deve essere in grado di lavorare la quantità di materiale richiesta. Il vantaggio è di avere, per i programmi appena messi in onda, la versione multimediale documentata con il minore ritardo possibile.
- **Dal pregresso**.
  Modalità per altro necessaria per tutti quei programmi già andati in onda prima dell'introduzione del Catalogo Multimediale. In questo caso la velocità d'immissione non è data tanto dagli automatismi introdotti, quanto dalla possibilità di operare in parallelo con un numero di linee a piacere. Alcuni punti a favore di questa metodologia sono:
  - Non criticità dei processi, non c'è l'esigenza di operare 24 ore al giorno;
  - Facilità nell'effettuare i collegamenti tra programmi e supporti fisici;
  - Possibilità d'impostare il lavoro secondo i criteri più opportuni (ad esempio per tipi di programmi, date, tipi di supporto, etc.).

5. Funzionalità generali del sistema d'acquisizione

L'acquisizione riguarda l'audio, il video ed i loro riferimenti temporali. I dati acquisiti sono trasferiti ad un ***Server***, secondo un'interfaccia stabilita, in modo da poter essere ulteriormente elaborati ed introdotti nei data base del ***Catalogo Multimediale***.
Il riferimento temporale dell'acquisizione multimediale è dato dall'orologio principale della stazione, cui sono asserviti tutti i processi d'acquisizione. Tutti i dati memorizzati riportano l'ora assoluta e l'intervallo di tempo che rappresentano, secondo l'orologio della stazione. La stazione può, e talvolta deve necessariamente, essere sincronizzata ad un orologio esterno. Per questa funzione sono previste diverse possibilità. Una di queste è attraverso una porta

seriale RS232, dove è accettato in ingresso un segnale orario, distribuito nelle sedi RAI con frequenza 1 Hz, asservito a sua volta al segnale orario dell'Istituto Galileo Ferraris. In questo caso la stazione applica un offset sull'ora in ingresso in modo da mantenere l'ora di Greenwich (GMT) e non subire discontinuità nel passare dall'ora legale a quella solare e viceversa.

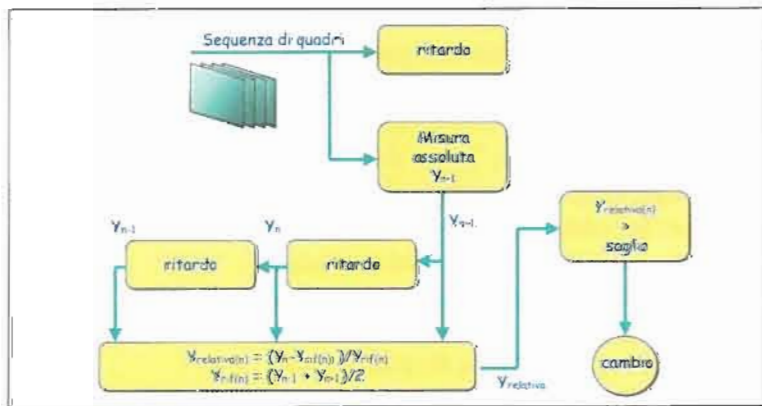
L'acquisizione audio avviene in modo continuo, attualmente con memorizzazione a qualità ridotta di un solo canale, ottenuto eventualmente dalla miscelazione di due canali stereo.

Anche **l'acquisizione video** è effettuata in modo continuo, a partire da un segnale composito (Pal), che è fornito in ingresso al software di analisi per la determinazione dei cambi inquadratura. Al Server è quindi trasferita la sequenza delle immagini rappresentative.

L'acquisizione del segnale time-code, opzionale, serve a memorizzare i riferimenti temporali dei supporti di registrazione dei programmi.

6. Strumenti per l'analisi video

Gli strumenti d'analisi del segnale video hanno a disposizione una memoria circolare, che contiene gli ultimi quadri acquisiti dal dispositivo hardware alla risoluzione impostata, tipicamente 384×288 pixel.

Fig. 8 - Schema a blocchi dell'algoritmo base per la rilevazione dei cambi inquadratura.

L'algoritmo per la **determinazione dei cambi netti** (figura 8) effettua una misura di diversità tra le due immagini più recenti. La misura consiste essenzialmente nel valor medio delle differenze assolute tra le luminanze delle due immagini, mediate su aree di 8×8 campioni. Questa misura, pur significativa, non permette da sola di rilevare un cambio netto perché estremamente sensibile alla complessità spaziale e temporale delle immagini in movimento. Per scorrelare la prestazione dell'algoritmo dal contenuto del segnale la decisione avviene confrontando i risultati di tre misurazioni successive. Il cambio scena è individuato quando la misurazione intermedia supera le altre due di certa soglia percentuale, il cui valore non risulta critico. La totalità dei tagli netti è rilevabile con questo algoritmo, anche se con alcune rilevazioni aggiuntive, dovute a scrosci o movimenti a scatti.

La rilevazione delle dissolvenze e degli effetti brevi avviene utilizzando il medesimo principio generale. La differenza consiste nel fatto che la misura di diversità avviene tra immagini distanti tra loro alcune centinaia di millisecondi. Ovviamente le misure confrontate per la decisione sono effettuate alla stessa cadenza ed occorre tenere conto di tante diverse fasi di misurazione quanti sono i quadri di ritardo. Questo metodo nasce dall'osservazione che, se l'effetto rilevato è sufficientemente rapido, si ottiene un valore apprezzabile e discriminante dalla misura di diversità quando il centro dell'effetto è equidistante dai due quadri in misura (figura 9). Opportunamente configurato l'algoritmo rileva circa l'80% degli eventi di questo tipo, con qualche falsa rilevazione.

Un'ulteriore processo d'analisi, effettuato soltanto sull'immagine rappresentativa dell'inquadratura, è la **rilevazione del colore**. Di per sé il segnale in ingresso al sistema è

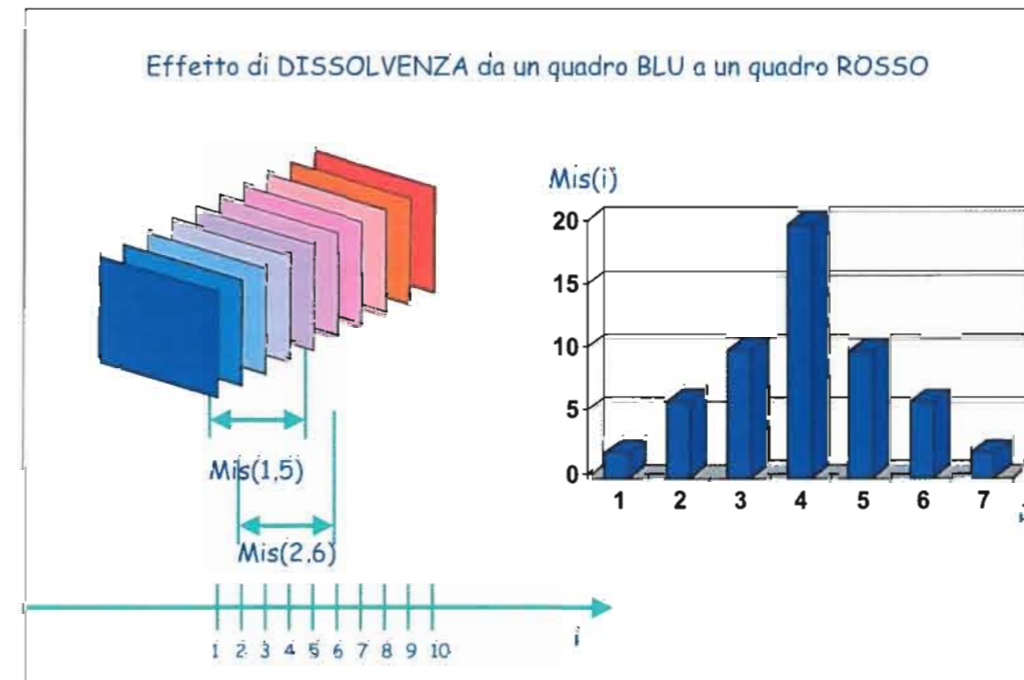



Fig. 9 - Schema di misura per la rilevazione delle dissolvenze brevi.

tecnicamente a colori, ma in questo caso s'intende determinare se il contenuto dell'immagine appare a colori o in bianco e nero. Nonostante tale operazione possa apparire semplice, esistono numerosi casi particolari che rendono la rilevazione del colore più difficile ed opinabile. Ad esempio vi sono immagini in bianco e nero con delle piccole aree a colori, come un logo, oppure esistono dei filmati che, pur essendo sostanzialmente in bianco e nero, contengono una tinta di fondo dovuta alla pellicola d'origine, infine si trovano immagini a colori con tinte talmente tenui da essere considerate in bianco e nero. Considerando anche l'inevitabile contributo del rumore, si comprende come la rilevazione del colore possa non essere sempre banale. L'algoritmo opera quindi sulle componenti di crominanza e le sue prestazioni dipendono dalla configurazione di una coppia di parametri, uno dei quali inerente il rumore ammissibile sulle crominanze, intorno al valore del grigio, il secondo relativo alla percentuale dell'immagine che deve risultare in bianco e nero per far ritenere tale l'intera immagine (utile nel caso di logo a colori su immagini bianco e nero) come illustrato in figura 10.

7. La generazione degli elementi multimediali

La parte video degli elementi multimediali è costituita dalle immagini rappresentative dell'inquadratura. Una volta determinati i

Fig. 10 - Esempio d'immagine in bianco e nero con logo a colori.

punti d'inizio e fine, un'immagine, approssimativamente centrale, è inviata alla **codifica JPEG** che ne riduce notevolmente l'ingombro ed è perfettamente decodificabile dalle applicazioni degli utilizzatori. La qualità dell'immagine risultante dipende dal fattore di qualità impostato e da un fattore di levigazione (*smooth*) che, applicando una sfocatura controllata, maschera eventuali difetti di codifica. Per entrambi i parametri sono validi valori da 0 a 100, tuttavia l'intervallo da 60 a 95 è quello consigliato per la qualità, tra 0 e 40 quello per lo sfocamento. Le immagini rappresentative saranno rese disponibili al Catalogo in due versioni, una a risoluzione superiore e una in formato *thumbnail,* a risoluzione dimezzata su entrambe le direzioni. Quest'ultima è quella maggiormente utilizzata sia per l'ingombro inferiore sia per la possibilità di visualizzare molte immagini contemporaneamente sullo schermo. La versione a risoluzione maggiore permette tuttavia di apprezzare meglio i dettagli presenti.

Il **segnale audio** entra nel sistema attuale in forma analogica, per cui la prima elaborazione consiste in una digitalizzazione in PCM, a bassa frequenza di campionamento, ad esempio 8 KHz, con una risoluzione tipica di 16 bit per campione. Il secondo passo è una segmentazione in spezzoni inviati poi alla codifica per la riduzione del bit-rate risultante. Anche in questo caso si vogliono avere due livelli di qualità e d'ingombro diversi. Il livello superiore è attualmente individuato in 32 Kbit/s, che il sistema d'acquisizione produce immediatamente con la codifica ADPCM-IMA. Per quello inferiore si raggiungono gli 8 Kbit/s, che permettono un buon servizio anche sui collegamenti a bassa velocità, con la codifica MPEG Layer3, effettuata attualmente dal Server.

Tutti gli elementi multimediali acquisiti ed inviati al Server sono sincronizzati per mezzo dell'opportuno riferimento temporale. I tempi d'inizio, le durate ed altre informazioni, tra cui i dati identificativi degli elementi stessi, sono registrati su **file indice descrittivo**, che a sua volta è trasferito periodicamente al Server. Quando l'acquisizione riguarda anche il segnale di TimeCode, registrato sul nastro in riproduzione, anch'esso è annotato sullo stesso file, permettendo così di associare ogni inquadratura video ed ogni segmento audio al punto esatto del nastro originale da cui sono stati tratti.

8. Il sistema attualmente in servizio

Attualmente sono in servizio una ventina di sistemi d'acquisizione multimediale, tutti operanti per conto del Catalogo, alcuni sui segnali di messa in onda delle tre reti RAI, con un servizio completamente ridondato 24 ore su 24, altri su linee di riversamento dai supporti originali.

Il sistema è stato realizzato dalla Digitec S.R.L in collaborazione con il Centro Ricerche ed Innovazione Tecnologica della RAI. [2]

L'apparato, che è in grado di operare in tempo reale e indeterminatamente senza interruzioni, è basato su un Personal Computer di tipo industriale, fornito di doppio processore e schede d'acquisizione dedicate. Pur potendo lavorare anche in modalità *standalone*, utilizza preferibilmente un Server, con sistema operativo di tipo Unix, per riversare i dati da immettere nei data base del Catalogo Multimediale. Il Server fornisce, per una molteplicità di sistemi d'acquisizione, un servizio di condivisione file per mezzo del software *Samba*, e rende disponibile gli elementi multimediali acquisiti a tutti gli altri sotto-sistemi che compongono il Catalogo. Per alcuni versi le stazioni Digitec possono essere viste come delle unità periferiche di detto Server, in più sono in grado di garantire il servizio anche durante eventuali disconnessioni da esso, ripristinando i dati acquisiti nel frattempo, sempre senza interrompere l'acquisizione.

L'unità, in servizio dall'inizio del 1998, esegue dei processi che sono tutti piuttosto critici dal punto di vista della temporizzazione. Anche per questo motivo è stato scelto il sistema operativo DOS (vers. 6.22) e si è stabilita una rigida divisione dei compiti tra i due processori, che si scambiano i dati attraverso un'apposita memoria condivisa (figura 11).

Fig. 11 - Schema di sistema d'acquisizione.

Un processore è dedicato all'acquisizione del segnale video, all'analisi dello stesso per la determinazione dei cambi inquadratura e alla codifica JPEG delle immagini rappresentative. Il secondo processore si cura dell'acquisizione e della codifica audio, della gestione dei riferimenti temporali, dell'annotazione dei dati di sincronizzazione e di timecode, del trasferimento dei dati acquisiti al Server.

L'introduzione in servizio di quest'apparato ha consentito l'inizio tempestivo ed il rapido progresso dell'attività di popolamento del Catalogo Multimediale, che potrà così molto presto diventare uno strumento estremamente interessante sia per gli utilizzatori all'interno della RAI, sia per altri utilizzatori esterni, grazie alla disponibilità della documentazione multimediale per un gran numero di programmi. L'affidabilità del sistema consentirà di provvedere con la dovuta tranquillità ad una sua versione migliorata che possa approfittare dei progressi che la tecnologia informatica ha compiuto nel frattempo.

Fig. 12 - Sistema d'acquisizione in servizio. A sinistra: stazione d'acquisizione ridondata completa di modulo per la distribuzione del segnale orario su RS232. A destra: insieme di demodulatori TV e matrici di distribuzione. Sul rack, televisore di monitoraggio.

Bibliografia

1 - Guido Campra (Politecnico di Torino): *Elaborazione numerica del segnale televisivo per catalogazione multimediale.* "Tesi di Laurea svolta presso il Centro Ricerche RAI," Febbraio 1998

2 - L. Boch: *La digitalizzazione dei programmi TV per il Catalogo Multimediale.* "RAI - Centro Ricerche - Documentazione Tecnica", Giugno 1998.

Brevi note sull'alimentazione di sistemi radiotelevisivi mobili

M. La Rosa*

* ing. Mario La Rosa - Rai Radiotelevisione Italiana - Divisione Produzione TV

Dattiloscritto pervenuto alla redazione il 3 aprile 2000

Nell'attuale organizzazione produttiva della RAI esiste la possibilità di allestire impianti mobili di ripresa TV. Progettando il necessario impianto elettrico bisogna affrontare molteplici problemi, ad esempio carichi casuali sbilanciati, rumore elettromagnetico, distorsione della tensione, incremento delle perdite. Le armoniche condotte portano alla diminuzione complessiva dell'affidabilità e dell'efficienza energetica del sistema; nel contempo la complessità e l'ingombro dell'impianto aumentano . In questo contesto si può affrontare il problema del carico elettronico con diversi metodi, usando componenti passivi o sistemi attivi. In tali tecniche ricadono l'uso dei filtri attivi e degli stadi serie per il PFC attivo.

1. Premesse

Nell'attuale organizzazione produttiva della RAI è prevista la capacità di allestire impianti mobili di ripresa TV. Tali sistemi, nel corso del tempo, hanno subito una notevole diversificazione, coprendo esigenze che vanno dalla breve e spartana ripresa a scopo giornalistico a quella di vere e proprie produzioni televisive allestite in strutture temporanee.
Quest'ultimo tipo di prestazione è sempre più richiesta dalla produzione, poiché garantisce una grande flessibilità nella capacità produttiva, un elevato abbattimento dei costi fissi ed una rapida risposta ad improvvise necessità.
Pertanto ci si è spinti a prevedere sistemi sempre più estesi e flessibili che mal si accordano ai criteri che, in passato, sono stati adottati nella progettazione di impianti di tipologia semplificata.
Infine, le mutate esigenze di alimentazione degli apparati elettronici ed i vincoli normativi spingono ad una profonda rianalisi del sistema di distribuzione elettrica.

Particolari difficoltà sono dovute alla necessità di valutare e limitare gli effetti del comportamento non lineare del carico elettronico, che non possono più essere solamente fronteggiati con il semplice sovradimensionamento dei componenti dell'impianto.
Nel seguito si illustreranno i problemi inerenti a tal genere di valutazioni, delineando alcuni suggerimenti per la progettazione degli impianti.

SHORT NOTES ON POWER SUPPLY OF MOBILE BROADCASTING PLANTS. **In the contemporary RAI production organization there is a capability to set mobile broadcasting plants. These systems have been diversified sizeably over last few years. Particular problems are caused by electronic load effects, that cannot be fronted anymore by means of plant oversizing. The modern AC switching power supplies pull current in short and high-amplitude pulses, near the peak of their supply voltage; phase-control lighting equipments are non-linear loads too. Designing a three-phase wye-connected power grid to supply the input current of such a kind of loads with a limited power source, engineers have to front several problems: unbalanced random loads, high value crest factor, low value power factor, high currents in neutral wires, radiated and electromagnetic noise, supply voltage distortion. The bad electromagnetic environment causes a series of consequences, such as low reliability and plant energy efficiency. At the same time the complexity and the volume of our plant increase. In this background, an electrical designer can front the problem of electronic load supplied by a low power grid with different approaches, using passive traditional LC filters, special transformers or active systems. These last ones are the fittest for mobile systems; particular cases of these techniques are active filters or stages for active PFC (Power Factor Control).**

2. Il sistema ed i suoi problemi

Nella tecnica moderna si può notare la sempre crescente diffusione di piccoli e leggeri dispositivi elettronici spesso dotati di alimentatori di tipo "switching" ("a commutazione") ad alta frequenza.
Questi tipi di alimentatori sono più leggeri ed efficienti di quelli lineari, pertanto vengono generalmente impiegati per costruire la migliore apparecchiatura elettronica.
Nella realizzazione dei sistemi di ripresa mobile, pur con una notevole diversificazione in volume e qualità delle soluzioni necessarie nei vari casi, la struttura degli impianti realizzati è sostanzialmente analoga a quelli fissi. Al fine di stabilire una configurazione tipica, con tutti i limiti di una estrema semplificazione, si può affermare che un sistema di ripresa mobile può essere formato da:

- uno o più gruppi elettrogeni;
- uno o più trasformatori di isolamento;
- apparecchi illuminanti;
- unità di ripresa;
- apparecchiature per il controllo ed il trattamento del segnale;
- trasmettitori ed antenne.

Questi apparati sono interconnessi tramite una rete elettrica di distribuzione di potenza ed una di segnale.
Quindi questi sistemi sono costituiti sostanzialmente dalla stessa attrezzatura utilizzata nelle installazioni fisse, ma i problemi legati al comportamento non lineare dell'alimentatore di un singolo dispositivo sono ingranditi dalla bassa disponibilità di potenza di picco. Tale situazione si presenta, ad esempio, quando l'impianto è attestato ad una sorgente di dimensioni relativamente ridotte, come un gruppo elettrogeno oppure un piccolo trasformatore di isolamento collegato alla rete di distribuzione elettrica pubblica.
I moderni alimentatori di potenza "switching" assorbono corrente in impulsi brevi e di grande ampiezza, tipicamente della durata di 2,2-2,5 ms per una linea 50 Hz 200-240 V, in prossimità del picco della loro tensione di alimentazione.
Di fatto l'alimentatore "switching" utilizza una sorgente DC non controllata (figura 1) che può essere approssimativamente rappresentata, per una tensione di alimentazione 230 V AC, come un raddrizzatore monofase a ponte (figura 2a). Tale schematismo ha il grande vantaggio di potersi adeguare, con qualche adattamento, anche ad eventuali alimentatori stabilizzati tradizionali presenti in rete. Si è in questo modo in grado di rappresentare correttamente il comportamento del singolo apparato distorcente, come mostrato in

Fig. 1 - Schema di un alimentatore "swithching".

Fig. 2a - Rete equivalente approssimativa dello stato AC/DC di un alimentatore "switching".

Fig. 2b - Misura tensione e corrente assorbita di un alimentatore "switching".

Fig. 3b - Simulazione della regia mobile in figura 3a.

Fig. 2c - Calcolo della corrente assorbita dal dispositivo misurato in figura 2b.

figure 2b e 2c. La rete complessiva di un mezzo mobile, ad esempio di una regia mobile, è descrivibile mediante composizione di adeguate impedenze lineari (che corrispondono a luci, apparati lineari, motori dei condizionatori ecc.) con in parallelo un carico non lineare equivalente alla combinazione degli apparati elettronici distorcenti (figure 3a e 3b).

Anche l'illuminazione scenica è non lineare, nei casi in cui si utilizza un controllo di fase della tensione per regolare l'intensità delle luci sul set.

I dispositivi di illuminazione parzializzati sono carichi con la corrente distorcente teoricamente massima quando il livello è intorno al 50% (figure 4a, 4b). In pratica il massimo può essere spostato a causa del comportamento non ideale dei dispositivi elettronici di potenza (p.es. TRIAC), nonché per la presenza di filtri introdotti sia in serie che in parallelo alla linea di potenza.

Progettando un impianto elettrico trifase a neutro distribuito, per alimentare un tale genere di utenze bisogna affrontare i seguenti problemi:

- carichi casuali sbilanciati;
- fattore di cresta di alto valore (tipicamente intorno a 2,5-3);
- fattore di potenza di basso valore (tipicamente intorno a 0,6-0,7);
- alte correnti nei conduttori di neutro dovuti allo sbilanciamento ed alla composizione delle armoniche del terzo ordine;
- rumore elettromagnetico irradiato e condotto;
- distorsione della tensione di alimentazione;
- aumento delle perdite energetiche.

Il cattivo ambiente elettromagnetico provoca una serie di conseguenze così riassumibili:

Fig. 3a - Misura della corrente assorbita da una regia mobile.

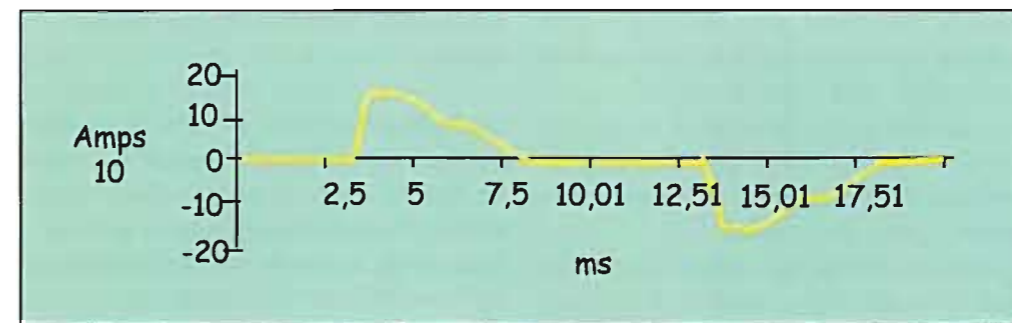



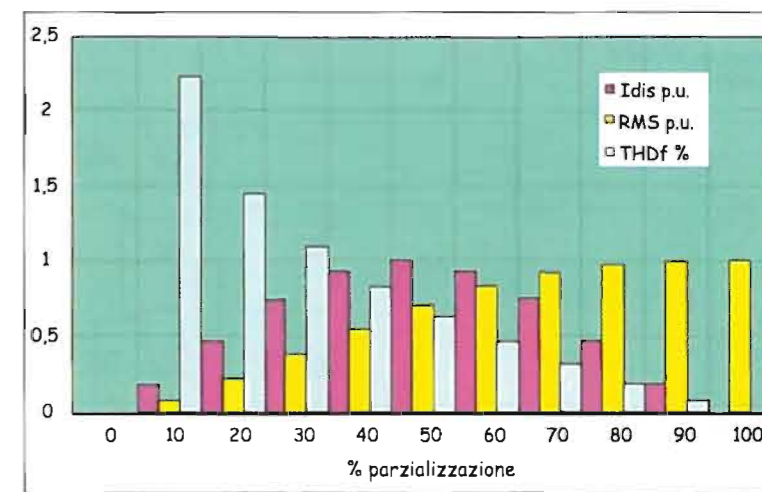
Fig. 4a - Misura della corrente assorbita da un dimmer luci parzializzato.

- basso MTBF dell'impianto;
- bassa efficienza e necessità di sovradimensionamento del macchinario elettrico;
- sovradimensionamento dei dispositivi di commutazione di potenza;
- sovradimensionamento dei cavi di potenza;
- necessità della protezione di sovracorrente per il conduttore di neutro;
- necessità di schermi speciali e filtri per la rete di potenza e di segnale;
- malfunzionamento degli interruttori di corrente;
- apertura intempestiva dei fusibili;
- dipendenza dalla frequenza delle soglie di intervento degli interruttori;
- cattivo funzionamento dei teleruttori e dei relè;
- vibrazioni e rumorosità meccanica;
- sfarfallio delle sorgenti luminose;
- minore efficienza energetica dell'impianto nel suo complesso.

Sovradimensionamento e bassa efficienza del macchinario elettrico possono essere affrontati dal progettista solo con costruzioni speciali che consentono di ridurre e sopportare le perdite addizionali dei nuclei magnetici. Si devono inoltre prevedere controlli e dispositivi di eccitazione speciali per i gruppi elettrogeni rotanti. Una compensazione più o meno efficiente delle correnti armoniche di carico può essere ottenuta con trasformatori speciali ("quad-wye"), ma l'efficienza di tale soluzione dipende dal bilanciamento e dalla qualità dei carichi.

La rilevante corrente armonica di carico genera spesso sovraccarico dei conduttori di neutro ed un campo elettromagnetico indotto di livello relativamente alto che, molte volte, interferisce con segnali di controllo.

In particolare, si hanno notevoli conseguenze sul funzionamento delle apparecchiature aventi segnali a frequenza paragonabile a quella delle armoniche di corrente. Si pensi che la presenza di perturbazioni indotte di tensione, rapidamente variabili con ampiezza dell'ordine di alcune centinaia di millivolt, sono quasi inavvertibili per il gestore del sistema di potenza ma possono seriamente mettere in crisi un'apparecchiatura con un segnale analogico PAL in ingresso.

Fig. 4b - Valori teorici P.U. per dimmer luci - si noti che THDF è la "Total Harmonic Distortion" della corrente riferita in percentuale al valore efficace della prima armonica.

Infine le distorsioni della tensione e della corrente possono provocare azionamenti intempestivi degli interruttori. Infatti, anche con solo un relè magnetico o termico, il comportamento degli interruttori è dipendente dalla frequenza; analoghe conseguenze ci sono per i fusibili.
Il problema diviene più complesso quando ci sono componenti armoniche in corrente continua che possono saturare i nuclei magnetici, oppure relè elettronici alimentati da una tensione con un alto livello di distorsione.
Più in dettaglio, occorre studiare il comportamento dei dispositivi di protezione a corrente differenziale. Gli standard internazionali non prevedono una prova specifica per alte distorsioni simultanee di corrente e tensione. Inoltre, l'analisi del relè può essere molto difficile per alti livelli di picco della corrente di carico e per una forte distorsione della forma d'onda, che può causare un comportamento non lineare del nucleo.
Nel contesto prima descritto, si è tentato di affrontare il problema della protezione dell'impianto per mezzo di una specifica selezione degli interruttori, ma c'è una carenza di standard internazionali che sarebbero benvenuti in simili ambienti ad alto disturbo.

3. Elementi sintetici sui convertitori statici

Prima di addentrarci sul tipo di soluzioni possibili ai problemi visti, appare opportuno dare un'occhiata alle possibilità attualmente offerte dall'elettronica di potenza.
Nonostante la grande varietà di componenti disponibili per realizzare uno "switch" elettronico, le topologie fondamentali usate per i convertitori statici sono relativamente poche. Tali schemi di principio sono poi adattati alle caratteristiche dei particolari componenti usati, nonché alle esigenze della sorgente di alimentazione e del carico. Per esempio sono possibili circuiti con o senza trasformatori per l'isolamento galvanico tra lato AC e DC, mentre vengono normalmente inseriti filtri EMI ("Electro-Magnetic Interference") per limitare il disturbo condotto immesso in rete.
Un caso elementare di convertitore AC/DC è il comune ponte raddrizzatore a diodi. Tale topologia, realizzata con componenti unidirezionali a conduzione controllata (p. es. SCR, IGBT, transistor), consente di ottenere un convertitore AC/DC in grado di trasferire potenza da o verso il lato DC. Uno schema di base monofase è in figura 5a, dove sono evidenziati i diodi di ricircolo

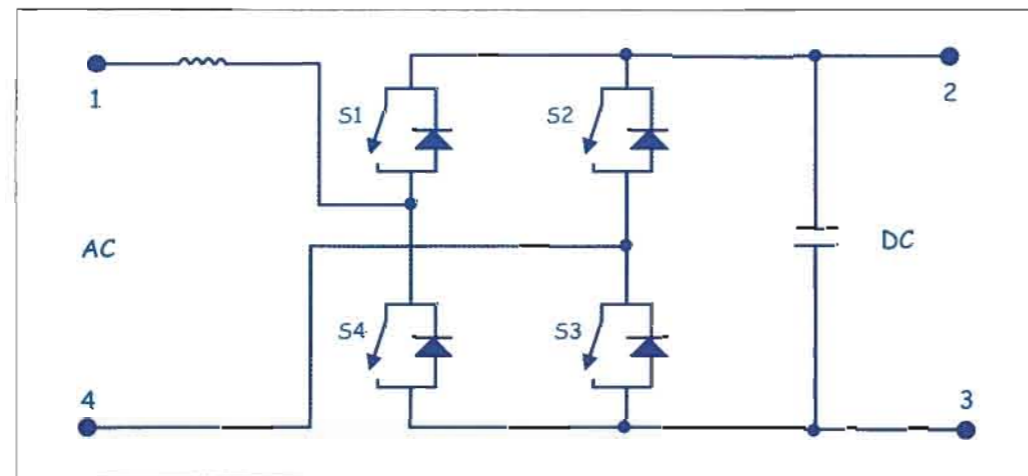



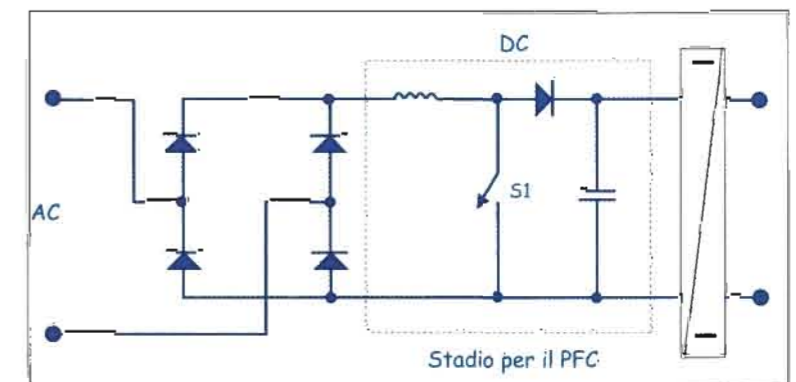
Fig. 5a - Convertitore monofase AC/DC a quattro quadranti.

necessari per valori istantanei di potenza negativi; lo schema trifase è analogo. Comandando gli "switch" statici è possibile regolare la tensione sul lato DC. Infatti, accendendo i componenti S1 ed S3 (mentre S2 ed S4 sono interdetti), i morsetti di ingresso 1 e 4 sono rispettivamente posti in contatto con quelli di uscita 2 e 3. Analogamente, accendendo S2 ed S4 (mentre S1 ed S3 sono spenti), i terminali 1 e 4 sono collegati in corrispondenza di 3 e 2. Il tutto può essere fatto, con i moderni componenti elettronici, a frequenze di commutazione aventi un ordine di grandezza anche cento o mille volte superiore a quello della normale rete AC.
In particolare, mediante un opportuno controllo PWM ("Pulse-Width Modulation") si può:

- alimentare un carico DC assorbendo dalla linea AC una corrente di forma assegnata ;
- assorbire oppure erogare potenza reattiva verso il lato AC.

Pertanto un convertitore AC/DC, caricato da un'opportuna capacità, può essere usato per iniettare in rete una corrente non sinusoidale controllata. Appare quasi superfluo annotare che è possibile anche alimentare un carico DC, assorbendo una corrente quasi perfettamente priva di armoniche.
Inoltre, avendo a disposizione una sorgente DC di tensione adeguata, con lo stesso tipo di circuito è anche possibile alimentare un carico AC. Infatti la presenza dei diodi di ricircolo consente il passaggio di corrente sfasata rispetto alla tensione applicata. In questo caso il convertitore funziona da "inverter" che può, anche questa volta, essere comandato con un controllo PWM per limitare le armoniche di tensione a valle.
Quindi collegando opportunamente in cascata due ponti, uno funzionante da raddrizzatore ed uno da "inverter", è possibile alimentare un carico distorcente AC e nel contempo assorbire una corrente di linea quasi sinusoidale (figura 5b). Per inciso si può notare che questa topologia si presta anche a realizzare, con gli opportuni adattamenti e completamenti, sistemi UPS ad assorbimento quasi sinusoidale. Quanto in precedenza esposto vale, in linea di principio, sia per i sistemi monofase che trifase.
Infine si vuole richiamare l'attenzione su di una semplice topologia per il PFC ("Power Factor Correction"), che consente di evitare le complicazioni di una configurazione a ponte. Uno schema di principio è in figura 5c. In questo circuito il condensatore lato DC viene caricato tramite un'induttanza, che immagazzina energia magnetica durante l'intervallo di tempo in cui lo "switch" S1 è chiuso. All'apertura di S1 si verifica una sovratensione ai capi dell'induttore che consente di caricare il condensatore, anche quando il valore istantaneo della tensione di alimentazione AC è inferiore a quella presente al lato DC.
Con un adeguato controllo PWM della commutazione di S1 è possibile ottenere, anche

Fig. 5b - Convertitore monofase AC/AC.

Fig. 5c - Convertitore monofase AC/DC con stadio per il PFC.

in questo caso, una corrente di assorbimento quasi priva di armoniche, regolando nel contempo il valore di tensione lato DC.
Le topologie viste in precedenza forniscono solo un esempio parziale di quanto sia oggi possibile fare. Tuttavia quanto descritto fa intravedere diverse soluzioni al problema dei carichi distorcenti, come sarà più dettagliatamente discusso nel seguito.

4. Considerazioni sulla progettazione degli impianti e gli standard di prodotto

La prima annotazione di un progettista elettrico è che, attualmente, i tradizionali sistemi elettrici di generazione o distribuzione e le apparecchiature elettroniche standard non sono ancora ben compatibili. La ragione di una tale situazione può essere ricercata nella bassa percentuale di carico elettronico nella normale rete di potenza.
Un passo verso una migliore compatibilità è stato fatto con la norma EN 61000-3-2 ma dobbiamo notare che, al giorno d'oggi, i costruttori possono scegliere di rispettare anche la meno restrittiva EN 60555-2. Inoltre non c'è alcun limite alla corrente armonica totale a bassa frequenza iniettata nel punto comune di accoppiamento (PCC), al fine di limitare la distorsione di tensione.
In questo contesto un progettista elettrico può affrontare il problema del carico elettronico alimentato da una rete di bassa potenza con differenti approcci, usando filtri LC passivi tradizionali, trasformatori speciali o tecniche attive.
I filtri LC possono essere adattati ad un sistema esistente, ma sono sensibili alle variazioni di carico ed alle distorsioni di tensione. Inoltre, essendo presenti rilevanti componenti armoniche a 150 Hz, il relativo filtro LC accordato diventa rapidamente ingombrante e costoso al crescere della taglia; analoghi problemi si verificano nel dimensionamento di trasformatori speciali. Infine può verificarsi un'eccessiva generazione di potenza reattiva a frequenza industriale.
Oltre tutto non va trascurato che talvolta possono presentarsi fenomeni di risonanza in alcuni punti della rete, giungendo addirittura a peggiorare la situazione. Pertanto è opportuno prevedere, per ciascun sistema LC posto in parallelo al carico, un'induttanza di sbarramento avente la funzione di evitare che il filtro oscilli a causa di tensioni distorte in rete. Tale accorgimento assicura anche la richiusura nello stesso delle armoniche generate dal carico. Per le applicazioni in sistemi mobili va anche rilevato che una soluzione completamente passiva ha, comunque, l'inconveniente del peso e del volume dei nuclei ferromagnetici richiesti dagli eventuali elementi induttivi necessari. In ultimo va ricordata l'ulteriore complicazione impiantistica di provvedere a scaricare, per motivi di sicurezza, gli eventuali banchi di condensatori al termine della fase di esercizio.
Le tecniche attive più adatte ai sistemi mobili possono essere suddivise in tre generi:

1. compensazione di armoniche con un carico controllato non lineare (filtro attivo) in parallelo ai dispositivi elettronici ed alle apparecchiature di illuminazione con regolatori;
2. convertitori statici AC/AC in serie (con uno stadio interno DC) tra la rete di alimentazione e i dispositivi elettronici ;
3. stadi serie AC/DC per il PFC (correzione del fattore di potenza) attivo.

Ognuna di queste soluzioni (eccetto l'ultima) può essere applicata in un impianto senza modificare l'assemblaggio di fabbrica del dispositivo, come richiesto dagli standard CENELEC per mantenere la marchiatura CE del costruttore.

4. Conclusioni

Il tipo di approccio al punto 1 consiste nel prevedere, al livello di impianto più conveniente dal punto di vista tecnico ed economico, un apparecchio che rilevi le correnti del carico posto a valle del punto di inserzione e le reinietti in controfase.
La topologia è mostrata in figura 6a; a monte della sbarra di inserzione non si risente delle correnti armoniche. Questa configurazione consente due vantaggi fondamentali:

- il dimensionamento del filtro dipende solo dalle componenti armoniche superiori alla prima (e non da tutta la corrente),
- il carico rimane alimentato anche in caso di guasto del filtro.

Per contro si ha un costo abbastanza elevato, se paragonato ad altre soluzioni.
Si tenga presente che il dispositivo detto può essere impiegato anche per rifasare la prima armonica di corrente, se necessario.
Inoltre si tratta di uno schema che si adatta naturalmente alle eventuali variazioni di ampiezza e qualità del carico distorcente. Superato il limite di erogazione del filtro attivo, semplicemente non viene bilanciata l'aliquota eccedente di corrente distorcente. Tale soluzione è stata sperimentata con i risultati mostrati in figura 6b e 6c.
La soluzione al punto 2 consente, al limite, di compensare un carico senza modifiche sostanziali della topologia di un impianto preesistente. Si tratta in ogni caso di dispositivi disposti in serie alle apparecchiature alimentate, dimensionati per l'intera corrente passante. Quindi un guasto del convertitore AC/AC detto provoca un disservizio, del quale va tenuto conto nella progettazione dell'impianto di ripresa.
Per contro l'installazione è assai semplice ed esistono commercialmente dispositivi anche di piccola taglia, il che consente l'inserzione a ridosso di piccoli gruppi di apparati.
Tale ultimo accorgimento attenua le controindicazioni prima accennate e permette, allo stesso tempo, un certo adattamento all'effettiva ampiezza del carico della quantità di apparecchiatura di compensazione funzionante.
Il terzo tipo di soluzione attiva consiste nel modificare l'alimentatore "switching", in

Carico distorcente
Filtro attivo

Fig. 6a - Schema di installazione di un filtro attivo in derivazione.

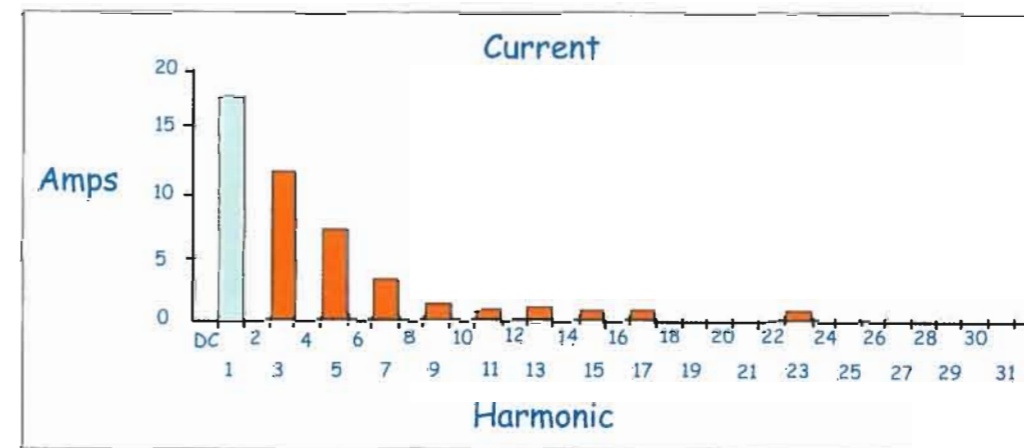
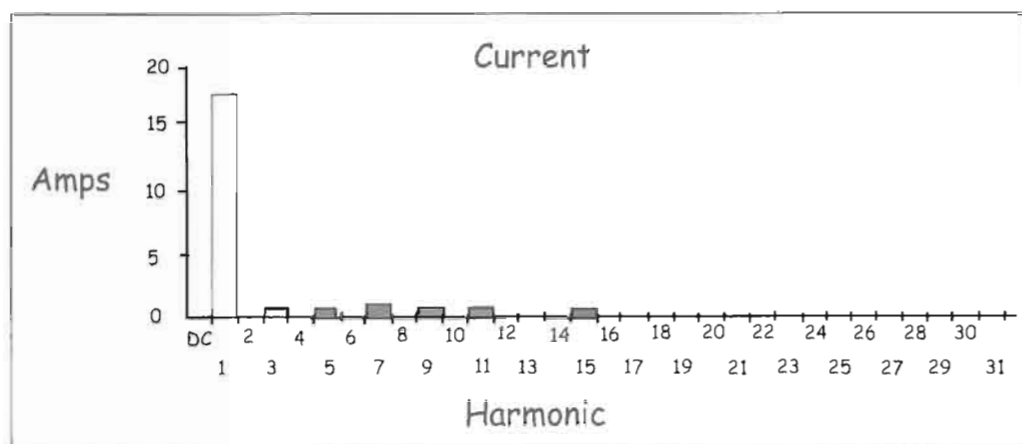



Fig. 6b - Componenti armoniche della corrente di una sezione non lineare di un impianto di ripresa.

Fig. 6c - Le componenti armoniche della corrente a monte della sezione di figura 6b dopo l'installazione di un filtro attivo in derivazione.

particolare lo stadio AC/DC in figura 2, usando uno stadio AC/DC PWM progettato per il PFC. Questa soluzione richiede una revisione del progetto dell'apparecchiatura, che soltanto gli standard internazionali possono imporre ai costruttori di dispositivi elettronici.
Un'efficace alternativa, nel caso di impianti mobili, è un convertitore centralizzato AC/DC con uno stadio per il PFC ed una rete di alimentazione DC, progettata specificamente per l'apparecchiatura elettronica. Questa scelta è possibile solo per dispositivi elettronici con un connettore esterno DC e specifiche del costruttore per una alimentazione DC fornita dagli utenti finali. Inoltre va studiata accuratamente l'affidabilita` dell'impianto nel suo complesso, per non rischiare un abbassamento del livello di servizio a causa della presenza di un nuovo elemento centralizzato.

Bibliografia

1 - Mohan, Undeland, Robbins: *Power Electronics*, Wiley, 1995.

2 - Norm EN 60555.

3 - Norm EN 61000.

4 - Henze, Mohan: *A digitally controlled AC to DC power conditioner that draws sinusoidal input current*, "IEEE Power Electronics Specialist Conference", 1986, pp. 531-540.

5 - Carter: *Rx for medical power supplies*, EDN, May 7,1998, pp. 81-88.

6 Severns, Bloom: *Modern DC-to-DC Switch Mode Power Converter Circuits*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.

Per abbonamenti e numeri arretrati:
LICOSA
Via Duca di Calabria, 1/1
50125 Firenze
Tel. 055/645415
Fax 055/641257

Versamenti
LICOSA - Firenze
ccp.343509

Copia arretrata £ 20.000
estero £ 27.000

Abbonamento annuale
£ 30.000
estero £ 50.000

n°1 1998

NUMERO SPECIALE

RAPPORTO SCIENTIFICO SULLA SINDONE
di Nello Balossino

- **L'immagine fotografica**
- **Studi medico legali**
- **L'elaborazione con strumenti informatici**
- **Studio dei pollini presenti sul telo**
- **Le principali ipotesi di genesi dell'immagine**
- **La datazione con il carbonio 14**
- **La probabilità applicata all'immagine**
- **La storia della Sindone**
- **Bibliografia**

n°2/3 1998

NUMERO SPECIALE

LA MUSICA E L'ELETTRONICA

Da "Elettronica" del 1956

- **Lo studio di Fonologia Musicale di Radio Milano** di Gino Castelnuovo
- **Prospettive nella musica** di Luciano Berio
- **Gli impianti tecnici dello Studio di Fonologia Musicale di Radio Milano** di Alfredo Lietti
- **Fondamenti acustico-matematici della composizione elettrica dei suoni** di Werner Meyer-Eppler
- **Problemi di regia radiofonica** di Werner Meyer-Eppler

La nuova Radio
di Marco Tuzzoli
Verso il futuro
di Massimiliano Cristiani e Mario Pascucci
Approdo a Nuova Atlantide
di Luciana Galliano

Rai Eri

n°1 1999

- **Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati**
di M. Barbero, E. Riva
- **Il progetto RAINET nella rete dei collegamenti televisivi della RAI**
di M. D'Onofrio, M. Cianfa, A. De Carolis
- **Servizi multimediali e interattivi nel DAB (digital audio broadcasting)**
di D. Milanesio, V. Sardella

n°2 1999

- **Il controllo centrale di Rai Saxa Rubra: situazione attuale ed evoluzione futura**
di Paolo D'Amato
- **Prove EBU sui nuovi formati di videoregistrazione DVCPRO e Betacam SX**
di Massimo Visca
- **Giro d'Italia Organizzazione delle riprese**
di Paolo D'Amato, Dario Tabone, Gian Carlo Tomassetti

n°3 1999

- **In ricordo di Renato Capra**
- **Linearizzazione di un modulatore elettro-ottico per impianti CATV**
di F. Mussino, M. Notargiacomo, G. Ravasio, C. Zammarchi
- **RDS/TMC: sistema per la messa in onda di messaggi codificati sul traffico** di G. Alberico, E. Cavallini, N. S. Tosoni
- **Prospettive per l'introduzione della televisione digitale terrestre in Italia** di M. Cominetti, A. Morello, R. Serafini

Rai Eri